



**TUGAS AKHIR - TM 145502**

**PENGARUH PROSES NORMALIZING  
TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR  
MIKRO PADA PIPA SA 179 YANG TELAH  
MENGALAMI PEMBENGKOKAN**

**FAHMI AINUN AFIF  
NRP. 2114 030 105**

**Dosen Pembimbing :  
Ir. Gathot Dwi Winarto, M.T  
NIP. 1958 0915 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



**TUGAS AKHIR - TM 145502**

**PENGARUH PROSES NORMALIZING  
TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR  
MIKRO PADA PIPA SA 179 YANG TELAH  
MENGALAMI PEMBENGKOKAN**

**FAHMI AINUN AFIF  
NRP. 2114 030 105**

**Dosen Pembimbing :  
Ir. Gathot Dwi Winarto, M.T  
NIP. 1958 0915 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



**FINAL PROJECT - TM 145502**

**THE EFFECT OF NORMALIZING PROCESS  
TO HARDNESS AND MICROSTRUCTURE  
ON THE BUCKLING PIPE SA 179**

**FAHMI AINUN AFIF  
NRP. 2114 030 105**

**Consellor Lecture :  
Ir. Gathot Dwi Winarto, M.T  
NIP. 1958 0915 198701 1 001**

**DIPLOMA 3 PROGRAM INDUSTRIAL MECHANICAL  
ENGINEERING  
Faculty of Vocation  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017**

**Pengaruh Proses Normalizing Terhadap Kekerasan dan  
Struktur Mikro Pada Pipa SA 179 yang Telah  
Mengalami Pembengkokan**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
pada  
Bidang Studi Manufaktur  
Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

**Oleh :**

**Fahmi Ainun Afif  
NRP. 2114 030 105**

**Mengetahui dan Menyetujui  
Dosen Pembimbing**



**Ir. Gathot Dwi Winarto, M.T  
NIP. 19580915 198701 1 001**

# **Pengaruh Proses Normalizing Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Pipa SA 179 Yang Telah Mengalami Pembengkokan**

**Nama** : Fahmi Ainun Afif  
**NRP** : 2114 030 105  
**Jurusan** : D3 Teknik Mesin Industri FV-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

## **Abstrak**

Dalam penggunaan dunia industri, pipa boiler digunakan untuk menyalurkan fluida. Salah satu komponen dalam sistem perpipaan adalah pembengkokan pipa. Akibat pembengkokkan pipa akan merubah nilai kekerasan dari pipa bengkok tersebut. Perubahan nilai kekerasan terjadi karena adanya penarikan dibagian atas pipa dan penekanan dibagian bawah pipa.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh proses *normalizing* terhadap kekerasan dan struktur mikro pada pipa SA 179 yang telah mengalami pembengkokan. Dari hasil pengujian kekerasan dapat diketahui perubahan nilai kekerasan pada pipa SA 179 yang telah mengalami pembengkokan setelah di *normalizing*, dan pada uji Metalografi dapat diketahui perubahan struktur mikro pada pipa bengkok setelah di *normalizing*.

Dari hasil pembengkokan pipa, didapatkan perubahan pengurangan tebal pada bagian atas pipa dan penambahan tebal pada bagian bawah pipa. Untuk hasil pengujian kekerasan, didapatkan bahwa material pipa bengkok mengalami kenaikan kekerasan daripada pipa lurus, dan pada saat pipa bengkok dilaku panas dengan proses *normalizing* mengalami penurunan kekerasan daripada pipa bengkok sebelum dilaku panas. Dari hasil pengujian metalografi, terjadi pengecilan batas butir pada pipa bengkok setelah di *normalizing*.

Kata-kata kunci : Pembekokan pipa, Pengujian kekerasan, pengujian metalografi

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **The Effect Of Normalizing Process To Hardness And Microstructure On The Buckling Pipe SA 179**

**Name** : Fahmi Ainun Afif  
**Student ID** : 2114 030 105  
**Department** : D3 Industrial Mechanical Engineering FV-ITS  
**Consellor Lecture** : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

## **Abstract**

In industrial use, boiler pipes are used to deliver fluids. One of the components in the piping system is bending pipe. The result of pipe bending will change the hardness value of the bending pipe. Changes in hardness values occur because of the withdrawal at the top of the pipe and the emphasis at the bottom of the pipe.

The purpose of this study was to determine the effect of normalizing process on hardness and microstructure on SA 179 pipeline which has been bending. From the results of hardness testing can be seen changes in the hardness of SA 179 pipeline that has been bending after normalizing, and in the test of Metallography can be known changes in microstructure in the bending pipe after the normalizing.

From the pipe bending results, there was a change in thickness at the top of the pipe and the addition of thickness at the bottom of the pipe. For the results of hardness testing, it is found that the material of crooked pipe increased hardness rather than straight pipe, and when the bent pipe was hot by normalizing process it decreased hardness rather than bent pipe before it was hot. From the results of metallographic testing, there is a reduction of grain boundaries in the bending pipe after normalizing.

**Keywords:** Bending Pipe, Hardness Test, Metallographic Test

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan petunjuk-Nya, sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini antara lain:

1. Bapak Ir. Gathot Dwi Winarto, M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan ilmu – ilmu yang bermanfaat, saran, serta membimbing penulis. Terimakasih atas waktu dan kesabarannya dalam membimbing penulis dalam penyelesaian tugas akhir.
2. Bapak, Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, M.Sc. selaku koordinator tugas akhir program studi D3 Teknik Mesin Industri.
4. Teman – teman D3 Teknik Mesin angkatan 2014, yang telah menemani selama 3 tahun terimakasih atas semuanya.
5. Seluruh Civitas Akademik D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
6. Orang tua penulis, Ibu Ir. Erni Andriastuti, Bapak Drs. Mochammad Chairul Afif, keluarga penulis yang selalu berdoa, dan memberikan dukungan moral dan materi serta nasehat agar selalu bersemangat dan pantang menyerah. Terimakasih atas motivasi dan kasih sayang yang selalu diberikan demi kesuksesan penulis.
7. Serta seluruh pihak yang belum disebutkan di atas dimana telah memberikan do'a bantuan dan dukungan bagi penulis hingga tugas akhir ini selesai tepat waktu dengan baik.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis

mengharapkan saran dan masukan dari semua pihak. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan pengetahuan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xvii</b>

## **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3

## **BAB II DASAR TEORI**

2.1 Definisi Baja.....	5
2.2 Klasifikasi Baja .....	6
2.3 Sifat Mekanik Material.....	6
2.4 Material SA 179 .....	9
2.5 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Baja.....	9
2.6 Pembengkokan Pipa .....	10
2.7 Diagram Fe-Fe <sub>3</sub> C.....	12
2.8 Heat Treatment.....	17
2.8.1 Normalizing.....	18
2.8.2 Metode Pemanasan dan Pendinginan.....	20
2.8.3 Waktu Penahanan (Holding Time).....	20
2.9 Diagram Transformasi Untuk Pendinginan.....	22
2.10 Pengujian Bahan Material .....	24

2.11 Hardness Test .....	24
2.11.1 Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	25
2.12 Pengujian Struktur Mikro.....	26

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Flow Chart Penelitian.....	31
3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian .....	33
3.3 Tempat.....	33
3.4 Langkah kerja.....	33
3.4.1 Studi literatur .....	33
3.4.2 Persiapan dan Pemotongan Material .....	33
3.4.3 Pembengkokan .....	35
3.4.4 Pemotongan Pipa Bengkok .....	36
3.4.5 Perlakuan Panas .....	36
3.4.6 Pengambilan <i>Test Piece</i> .....	37
3.4.7 Menghitung Rata – Rata Batas Butir .....	41

### **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Parameter Normalizing .....	43
4.2 Ketebalan Pipa.....	44
4.3 <i>Hardness Test</i> (Uji Kekerasan) .....	46
4.3 Metallography Test (Uji Metalografi).....	51

### **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran.....	84

### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **LAMPIRAN 1**

#### **LAMPIRAN 2**

#### **LAMPIRAN 3**

#### **BIODATA PENULIS**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan Antara Kandungan Karbon dengan Sifat Mekanis Baja (Karmin dan Ginting, 2012). .....	5
Gambar 2.2	Rotary Draw Bending (Finbar, 2000). .....	11
Gambar 2.3	Press Bending (Finbar, 2000).....	11
Gambar 2.4	Roll Bending (Finbar, 2000). .....	12
Gambar 2.5	Diagram Kesetimbangan Fe-Fe <sub>3</sub> C (De Gamo, 1969). .....	13
Gambar 2.6	Austenite (Raymond, 1999). .....	14
Gambar 2.7	Ferrit (Raymond, 1999).....	15
Gambar 2.8	Perlite (Raymond, 1999). .....	15
Gambar 2.9	Bainit (Raymond, 1999).....	16
Gambar 2.10	Martensit (Raymond, 1999). .....	16
Gambar 2.11	Sementit (Raymond, 1999). .....	17
Gambar 2.12	Diagram Temperatur Terhadap Waktu. ....	18
Gambar 2.13	Interval Temperatur Normalizing Pada Baja Karbon (Brooks/Cole, 2003).....	19
Gambar 2.14	Diagram Normalizing.....	19
Gambar 2.15	Diagram TTT (Smallman dan Bishop, 2000)...	23
Gambar 2.16	Prinsip Kerja <i>Rockwell</i> (Raymond, 2003).....	25
Gambar 2.17	Mikroskop. ....	26
Gambar 3.1	<i>Flow Chart</i> Diagram. ....	31
Gambar 3.2	<i>Flow Chart</i> Diagram (Lanjutan).....	32
Gambar 3.3	Dimensi Material.....	34
Gambar 3.4	Gambar Material SA 36. ....	34
Gambar 3.5	Proses Pemotongan Benda Kerja. ....	34
Gambar 3.6	Skema Proses Bending. ....	35
Gambar 3.7	Proses Pembendungan.....	35
Gambar 3.8	Benda Kerja Hasil Bending. ....	35
Gambar 3.9	Pembagian Pemotongan Pipa Bending.....	36
Gambar 3.10	Alat Oven.....	36
Gambar 3.11	Diagram Pemanasan Benda Kerja. ....	37
Gambar 3.12	<i>Test Piece</i> Pengujian.....	37
Gambar 3.13	Material Uji Kekerasan.....	38
Gambar 3.14	Alat Uji Kekerasan Rockwell. ....	38

Gambar 3.15	Lokasi Indentasi Uji Kekerasan.....	39
Gambar 3.16	Alat & Bahan Untuk Proses Etsa.....	40
Gambar 3.17	Garis Bantu Perhitungan Besar Batas Butir Struktur Mikro .....	41
Gambar 4.1	Lokasi Pengukuran Ketebalan Pipa.....	44
Gambar 4.2	Material Pengukuran Ketebalan .....	44
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan Ketebalan Pipa .....	45
Gambar 4.4	Sket Pembagian Bidang Pada Pipa SA 179 Sebelum di Heat Treatment .....	46
Gambar 4.5	Material Uji Kekerasan Sebelum di Heat Treatment .....	47
Gambar 4.6	Grafik Nilai Kekerasan Pipa Sebelum di Heat Treatment .....	48
Gambar 4.7	Sket Pembagian Bidang Uji Kekerasan Pada Pipa SA 179 Sesudah di Heat Treatment .....	48
Gambar 4.8	Material Uji Kekerasan Sesudah di Heat Treatment .....	49
Gambar 4.9	Grafik Nilai Kekerasan Pipa Bengkok Normalizing .....	50
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Pipa Bengkok Sebelum di Heat Treatment dan Pipa Bengkok Sesudah di Normalizing .....	50
Gambar 4.11	Sket Pembagian Bidang Uji Struktur Mikro Pada Pipa SA 179 Sebelum di Heat Treatment .....	52
Gambar 4.12	Benda Kerja Uji Struktur Mikro Sebelum di Heat Treatment.....	52
Gambar 4.13	Struktur Mikro Pipa D .....	53
Gambar 4.14	Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa D ....	53
Gambar 4.15	Struktur Mikro Pipa AI Sebelum di Heat Treatment .....	54
Gambar 4.16	Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa AI Sebelum di Heat Treatment.....	55
Gambar 4.17	Struktur Mikro Pipa AIII Bawah Sebelum di Heat Treatment.....	56
Gambar 4.18	Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa AIII Sebelum di Heat Treatment.....	56

Gambar 4.19	Struktur Mikro Pipa CI Sebelum di Heat Treatment .....	58
Gambar 4.20	Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa CI Sebelum di Heat Treatment.....	58
Gambar 4.21	Struktur Mikro Pipa CIII Sebelum di Heat Treatment .....	60
Gambar 4.22	Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa CIII Sebelum di Heat Treatment.....	60
Gambar 4.23	Struktur Mikro Pipa BI Sebelum di Heat Treatment .....	62
Gambar 4.24	Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa BI Sebelum di Treatment .....	62
Gambar 4.25	Struktur Mikro Pipa BIII Sebelum di Heat Treatment .....	64
Gambar 4.26	Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa BIII Sebelum di Treatment .....	64
Gambar 4.27	Sket Pembagian Bidang Uji Struktur Mikro Pada Pipa SA 179 Sesudah di Heat Treatment.	66
Gambar 4.28	Material Uji Struktur Mikro Sesudah di Heat Treatment .....	66
Gambar 4.29	Struktur Mikro Pipa AI Sesudah di Normalizing.....	67
Gambar 4.30	Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa AI Sesudah di Normalizing .....	67
Gambar 4.31	Struktur Mikro Pipa AIII Sesudah di Normalizing.....	69
Gambar 4.32	Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa AIII Sesudah di Normalizing .....	69
Gambar 4.33	Struktur Mikro Pipa CI Sesudah di Normalizing.....	71
Gambar 4.34	Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa CI Sesudah di Normalizing .....	71
Gambar 4.35	Struktur Mikro Pipa CIII Sesudah di Normalizing.....	73
Gambar 4.36	Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa CIII Sesudah di Normalizing .....	73

Gambar 4.37	Struktur Mikro Pipa BI Sesudah di Normalizing.....	75
Gambar 4.38	Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa BI Sesudah di Normalizing .....	75
Gambar 4.39	Struktur Mikro Pipa BIII Sesudah di Normalizing.....	77
Gambar 4.40	Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa BIII Sesudah di Normalizing .....	77
Gambar 4.41	Grafik Nilai Rata – Rata Batas Butir Struktur Mikro Pipa Bengkok Sebelum di Heat Treatment .....	79
Gambar 4.42	Nilai Rata – Rata Batas Butir Struktur Mikro Pipa Bengkok Setelah di Normalizing .....	80
Gambar 4.43	Grafik Perbandingan Nilai Rata – Rata Batas Butir Pipa Bengkok Sebelum di Heat Treatment dan Pipa Bengkok Sesudah di Normalizing .....	81



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Kimia Material.....	9
Tabel 2.2	Sifat Mekanik Material. ....	9
Tabel 2.3	Skala Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> . ....	26
Tabel 4.1	Spesifikasi Material .....	43
Tabel 4.2	Parameter Perlakuan Panas. ....	43
Tabel 4.3	Nilai Perbandingan Ketebalan Pipa. ....	45
Tabel 4.4	Nilai Kekerasan Untuk Pipa Sebelum di Heat Treatment. ....	47
Tabel 4.5	Nilai Kekerasan Untuk Pipa Bengkok Normalizing .....	49
Tabel 4.6	Nilai Rata – Rata Batas Butir Struktur Mikro Pipa Sebelum di Heat Treatment. ....	66
Tabel 4.7	Nilai Rata – Rata Batas Butir Struktur Mikro Pipa Bengkok Setelah di Normalizing .....	67

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam dunia industri, terjadi perkembangan yang sangat pesat. Perkembangan itu ditandai dengan berkembangnya ilmu dan teknologi yang pada akhirnya akan mengakibatkan bertambahnya persaingan khususnya di dalam industri, sehingga kita dituntut untuk mempersiapkan diri dalam menghadapi perkembangan ilmu dan teknologi di bidangnya masing – masing.

Boiler merupakan alat penukar kalor, dimana energi panas yang dihasilkan dari pembakaran diubah menjadi uap. Salah satu peralatan yang sangat penting di dalam boiler yaitu pipa boiler. Pipa boiler ini sebagai media tempat mengalirnya fluida proses dari unit satu ke unit lainnya. Dalam pembengkokan pipa terdapat banyak prosedur di dalam proses pembuatannya sesuai dengan spesifikasi material pipa boiler yang akan dikerjakan. Namun apabila diteliti lebih jauh, maka didalamnya terdapat banyak permasalahan yang harus segera diatasi.

Salah satu permasalahan dalam pembuatan pipa bengkok ini adalah perubahan kekerasan dan struktur mikronya. Hal ini harus diperhatikan ialah dengan cara mengetahui perubahan yang terjadi pada saat pembengkokan pada pipa boiler tersebut.

Pada penelitian ini dilakukan analisa pada material SA 179, dengan menggunakan pengujian kekerasan dan struktur mikro setelah dilakukan pembengkokan pipa boiler, disertakan pula data material pengujian kekerasan dan struktur mikro sebelum di bengkok. Lalu dilakukan perlakuan panas pada pipa bengkok dengan metode *normalizing* pada temperatur 920° C. Setelah itu dilakukan pengujian kekerasan dan struktur mikro lagi untuk mengetahui perbandingan uji kekerasan dan uji struktur mikro setelah dilaku panas.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Dengan adanya latar belakang, maka ada beberapa rumusan masalah yang muncul sebagai pertanyaan pedoman agar

sesuai dengan apa yang diinginkan, diantara rumusan tersebut adalah:.

1. Bagaimana pengaruh proses *normalizing* terhadap kekerasan pada pipa SA 179 yang telah mengalami pembengkokan.
2. Bagaimana pengaruh proses *normalizing* terhadap struktur mikro pada pipa SA 179 yang telah mengalami pembengkokan.

### **1.3 Batasan Masalah**

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai masalah yang dikaji, maka perlu kiranya diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Material awal yang digunakan dalam penelitian dianggap tidak ada cacat.
2. Material yang digunakan adalah SA 179 dengan diameter 51 mm dan tebal pipa 2,9 mm.
3. Material dilakukan pembengkokan dengan radius 70 mm menggunakan proses rotary draw bending.
4. Pengujian yang dilakukan adalah *Hardness Rockwell* dan *Metalography*

### **1.4 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut ;

1. Mengetahui pengaruh proses *normalizing* terhadap kekerasan pada pipa SA 179 yang telah mengalami pembengkokan.
2. Mengetahui pengaruh proses *normalizing* terhadap struktur mikro pada pipa SA 179 yang telah mengalami pembengkokan.

## **1.5 Manfaat**

Dari penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat serta kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh pembengkokan pada pipa dalam uji kekerasan dan struktur mikro.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran bagian – bagian dari sub bab, diantaranya sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisikan tentang : latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan dan manfaat.

### **BAB II DASAR TEORI**

Membahas tentang dasar-dasar teori yang digunakan sebagai dasar perhitungan dan pemikiran.

### **BAB III METODOLOGI**

Membahas tentang metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

### **BAB IV HASIL DAN ANALISA**

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian kekerasan, dan pengujian metalografi.

### **BAB V PENUTUP**

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis beserta saran.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan, berupa buku, jurnal, maupun website yang dijadikan acuan.

## **LAMPIRAN**

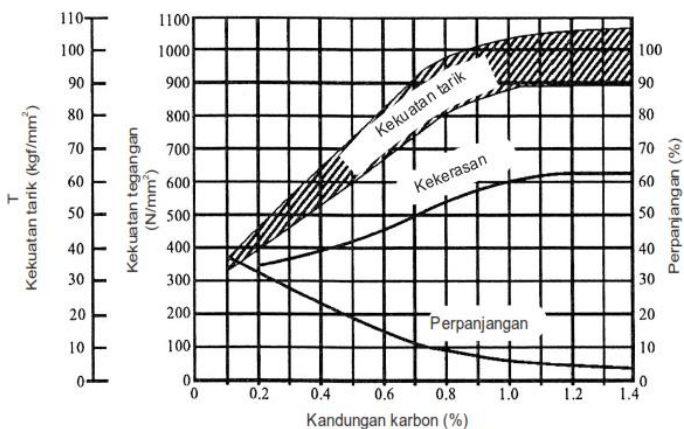
Berisi tentang data – data material beserta hasil data pengujian material.

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Definisi Baja

Baja adalah logam paduan dengan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur pengeras pada kisi kristal atom besi, selain karbon sebagai unsur paduan utama pada baja, terdapat unsur – unsur lain seperti titanium, krom, nikel, vanadium, cobalt dan tungsten. Unsur – unsur paduan pada baja sangat mempengaruhi sifat mekanis dari baja tersebut.

Persentase unsur karbon pada baja memiliki pengaruh langsung terhadap kekerasan baja. Pada umumnya, baja yang memiliki kandungan karbon lebih tinggi memiliki kekuatan tarik dan kekerasan yang lebih besar, tetapi dapat menurunkan perpanjangan sehingga menurunkan sifat pengerjaan dan sifat mampu las cenderung mudah retak. Maka menentukan kandungan karbon dari material bahan sangat diperlukan sesuai dengan kebutuhan dan fungsinya.



**Gambar 2.1 Hubungan antara Kandungan Karbon dengan Sifat Mekanis Baja (Karmin dan Ginting, 2012)**

## 2.2 Klasifikasi Baja

Berdasarkan komposisi kimia, baja dapat dibagi menjadi dua, yaitu baja karbon dan baja paduan. Baja karbon bukan berarti baja yang sama sekali tidak mengandung unsur lain (selain besi dan karbon). Baja karbon masih mengandung sejumlah unsur tetapi masih dalam batas – batas tertentu yang tidak banyak berpengaruh pada sifat dasar baja. Unsur – unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan besi seperti mangan, silikon, dan beberapa unsur lainnya, seperti belerang, posfor, oksigen, nitrogen dan lain – lain yang bertujuan untuk memberikan sifat – sifat seperti ketahanan aus, ketahanan asam dan masih banyak lagi fungsi dari penambahan unsur – unsur tersebut.

## 2.3 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan beban-beban yang dikenakan kepadanya. Dimana beban-beban tersebut dapat berupa beban tarik, tekan, bengkok, geser, puntir, atau beban kombinasi. beberapa sifat mekanis logam antara lain:

### 1. Kekuatan (*Strenght*)

Kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, tergantung pada jenis beban yang bekerja atau mengenainya. Contoh kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.

### 2. Kekakuan (*stiffness*)

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi atau difleksi.

### 3. Kekenyalan (*elasticity*)

Kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang



permanen setelah tegangan dihilangkan. Bila suatu benda mengalami tegangan maka akan terjadi perubahan bentuk. Apabila tegangan yang bekerja besarnya tidak melewati batas tertentu maka perubahan bentuk yang terjadi hanya bersifat sementara, perubahan bentuk tersebut akan hilang bersama dengan hilangnya tegangan yang diberikan. Akan tetapi apabila tegangan yang bekerja telah melewati batas kemampuannya, maka sebagian dari perubahan bentuk tersebut akan tetap ada walaupun tegangan yang diberikan telah dihilangkan. Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk elastis yang dapat terjadi sebelum perubahan bentuk yang permanen mulai terjadi, atau dapat dikatakan dengan kata lain adalah kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.

#### **4. Plastisitas (*plasticity*)**

Merupakan kemampuan material untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (*deformasi palstis*) tanpa mengalami kerusakan. Material yang mempunyai plastisitas tinggi dikatakan sebagai material yang ulet (*ductile*), sedangkan material yang mempunyai plastisitas rendah dikatakan sebagai material yang getas (*brittle*).

#### **5. Keuletan (*ductility*)**

Merupakan kemampuan sifat material yang digambarkan seperti kabel dengan aplikasi kekuatan tarik. Material yang ulet (*ductile*) ini harus memiliki sifat yang kuat dan lentur. Keuletan biasanya diukur dengan suatu periode tertentu, persentase keregangan. Sifat ini biasanya digunakan dalam bidang perteknikan, dan bahan yang memiliki sifat ini antara lain besi lunak, tembaga, aluminium, nikel, dan lain – lain.

**6. Ketangguhan (*toughness*)**

Merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energy tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan.

**7. Kegetasan (*brittleness*)**

Merupakan kemampuan sifat bahan yang mempunyai sifat berlawanan dengan keuletan. Kegetasan ini merupakan suatu sifat pecah dari suatu material dengan sedikit pergeseran permanent. Material yang getas atau rapuh ini juga menjadi sasaran pada beban regang, tanpa memberi keregangan yang terlalu besar. Contoh bahan yang memiliki sifat kerapuhan ini yaitu besi cor.

**8. Kelelahan (*fatigue*)**

Merupakan kemampuan kecenderungan dari logam untuk menjadi patah bila menerima beban bolak-balik (*dynamic load*) yang besarnya masih jauh di bawah batas kekakuan elastisnya.

**9. Melar (*creep*)**

Merupakan kemampuan kecenderungan suatu logam untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (*deformasi plastik*) bila pembebanan yang besarnya relative tetap dilakukan dalam waktu yang lama pada suhu yang tinggi.

**10. Kekerasan (*hardness*)**

Merupakan kemampuan ketahanan material terhadap penekanan atau indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan (*wear resistance*) yaitu ketahanan material terhadap penggoresan atau pengikisan.

## 2.4 Material SA 179

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah pipa boiler dengan type bahan SA 179, dimana material ini memiliki kandungan komposisi kimia dan sifat mekanik yaitu, ditunjukkan pada tabel 2.1 dan tabel 2.3

**Tabel 2.1 Komposisi Kimia Material (JFE Steel Corporation, 2000)**

C	P	Mn	S	Cr
0.09	0.028	0.58	0.025	0.07

**Tabel 2.2 Sifat Mekanik Material (JFE Steel Corporation, 2000)**

SA 179		
Tensile Strengt		Hardness
YS (MPa)	TS (MPa)	(HRB)
210	350	62

## 2.5 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Baja

Baja yang hanya mengandung unsur karbon tidak akan memiliki sifat seperti yang diinginkan. Penambahan unsur-unsur paduan lain seperti Si, Mn, Ni, Cr, V, W dan lain sebagainya dapat menghasilkan sifat-sifat baja yang diinginkan. Pengaruh penambahan beberapa unsur paduan terhadap sifat baja adalah:

### a. Silikon (Si)

Unsur silikon mempunyai pengaruh menaikkan tegangan tarik dan menurunkan kecepatan pendinginan kritis (laju

pendinginan minimal yang dapat menghasilkan 100% martensit).

**b. Mangan (Mn)**

Unsur mangan dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai *deoxider* (pengikat O<sub>2</sub>) sehingga proses peleburan dapat berlangsung baik. Kadar Mn yang rendah dapat menurunkan pendinginan kritis.

**c. Nikel (Ni)**

Unsur nikel memberikan pengaruh sama dengan Mn, yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan kritis. Ni membuat struktur butiran menjadi halus dan menambah keuletan.

**d. Khrom (Cr)**

Unsur krom meningkatkan kekuatan tarik dan keplastisan, menambah mampu keras, meningkatkan daya tahan terhadap korosi dan tahan suhu tinggi.

**e. Vanadium (V) dan Wolfram (W)**

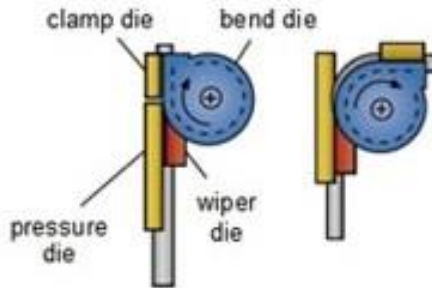
Unsur vanadium dan wolfram membentuk karbidat yang sangat keras dan menyebabkan baja memiliki kekerasan yang tinggi. Kekerasan dan tahan panas yang cukup tinggi pada baja sangat diperlukan untuk mesin pemotong dengan kecepatan tinggi.

## **2.6 Pembengkokan Pipa**

Proses pembengkokan pipa adalah suatu proses yang mengubah benda dari bentuk yang lurus menjadi lengkungan. Pada proses ini bagian luar dari benda akan mengalami tarikan dan bagian dalam akan mengalami tekanan. Ada beberapa macam metode bending yang biasanya digunakan untuk menekuk pipa, yaitu :

## 1. Rotary Draw bending

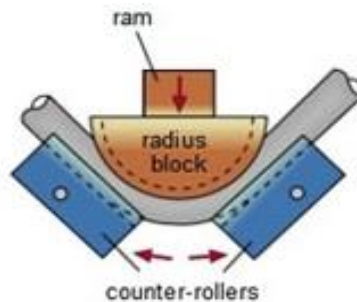
Metode *draw bending* menggunakan dua cetakan, yaitu : cetakan bending stationer dan cetakan bending dengan diameter tetap untuk membentuk lengkungan. Cara ini digunakan apabila pipa yang dibengkok perlu memiliki hasil akhir yang baik dengan diameter konstan di seluruh panjang.



**Gambar 2.2 Rotary Draw Bending (Finbar, 2000)**

## 2. Press bending

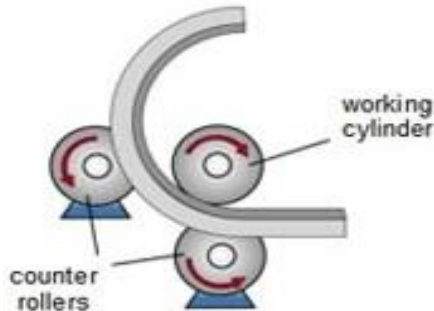
Metode *press bending* atau *compress bending* digunakan untuk membuat lengkungan besar untuk pipa yang mudah bengkok. Dalam metode ini, pipa ditekan pada 2 poin eksternal, dan ram mendorong pada besi poros tengah untuk menekuknya. Cara ini cenderung membuat bentuk oval baik dibagian dalam dan luar lengkungan.



**Gambar 2.3 Press Bending (Finbar, 2000)**

### 3. Roll bending

Metode roll bending digunakan untuk membuat bentuk lengkungan yang besar pada pipa. Banyak digunakan untuk pekerjaan konstruksi. Bending roll menggunakan 3 roller yang disusun membentuk segi tiga pada suatu poros untuk mendorong dan membengkokkan logam.



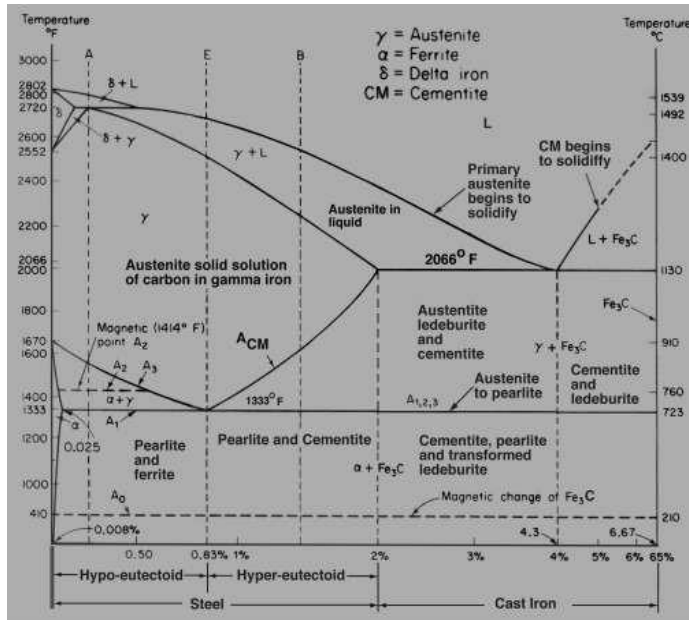
**Gambar 2.4 Roll Bending (Finbar, 2000)**

### 2.7 Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C

Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C dihasilkan pada proses pendinginan lambat. Baja dan besi tuang yang ada kebanyakan berupa paduan besi dengan karbon, dimana karbonnya berupa senyawa interstisial (sementit). Sementit merupakan struktur logam yang stabil. Selain unsur karbon pada besi dan baja terkandung kurang lebih 0,25% Si, 0,3% - 1,5% Mn serta pengotor lain seperti P dan S. Karena unsur – unsur tadi tidak digunakan dengan menghiraukan adanya unsur – unsur tersebut. Melalui diagram kesetimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C secara garis besar baja dapat juga dikelompokkan sebagai berikut :

1. Baja hypoeutectoid dengan kandungan karbon sekitar 0,008% - 0,80%
2. Baja eutectoid dengan kandungan karbon 0,8%
3. Baja hypereutectoid dengan kandungan karbon sekitar 0,8% - 2%

Diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C sangat penting di bidang metalurgi karena sangat bermanfaat dalam menggambarkan perubahan – perubahan fasa pada baja seperti gambar 2.5



**Gambar 2.5 Diagram Keseimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C (De Gamo, 1969)**

Pada Gambar 2.5 ditampilkan diagram kesetimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C, fasa-fasa yang terdapat pada diagram diatas dapat dijelaskan seperti berikut. A<sub>1</sub> adalah temperatur reaksi *eutectoid* yaitu perubahan fasa  $\gamma$  menjadi  $\alpha + Fe_3C$  (perlit) untuk baja *hypo-eutectoid*. A<sub>2</sub> adalah titik *currie* (pada temperatur 769°C), dimana sifat magnetik besi berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetik. A<sub>3</sub> adalah temperatur transformasi dari fasa  $\gamma$  menjadi  $\alpha$  (ferit) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunya temperatur. Acm adalah temperatur transformasi dari fasa  $\gamma$  menjadi Fe<sub>3</sub>C (sementit) yang

ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur. sedangkan pada  $A_{123}$  adalah temperatur transformasi  $\gamma$  menjadi  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$  (perlit) untuk baja *hypereutectoid*.

Beberapa fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon:

### 1. Austenite

Austenite adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya austenite berubah menjadi ferit, perlit dan sementit. Sifat Austenite adalah lunak, lentur dengan keliatan tinggi. Kadar karbon maksimum sebesar 2,14%.

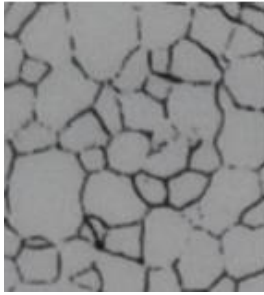


**Gambar 2.6 Austenite (Raymond, 1999)**

### 2. Ferit

Ferit ini disebut alpha ( $\alpha$ ), ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga hanya sedikit menampung atom karbon. Oleh sebab itu daya larut karbon dalam ferit rendah kurang dari 1 atom karbon per 1000 atom besi. Pada suhu ruang, kadar karbonnya 0,008% sehingga dapat dianggap besi murni. Kadar maksimum karbon sebesar 0,025%, pada suhu 723°C. Ferit bersifat magnetik sampai suhu 768°C. Ferit lunak dan liat, kekerasan dari ferit berkisar antara 140-180 HVN (Vicker Hardness Number).





**Gambar 2.7 Ferrit (Raymond, 1999)**

### **3. Perlit**

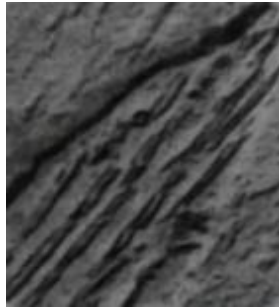
Fasa ini merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu ferit dengan kadar karbon 0,025% dan sementit alam bentuk lamelar (lapisan) dengan kadar karbon 6,67% yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. Jadi perlit merupakan struktur mikro. Kekerasan dari perlit kurang lebih berkisar antara 180-250 HVN.



**Gambar 2.8 Perlit (Raymond, 1999)**

### **4. Bainit**

Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa austenite ke suhu antara 250°C- 550°C dan ditahan pada suhu tersebut (isothermal). Bainit adalah struktur mikro campuran fasa ferit dan sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Kekerasan bainit kurang lebih berkisar antara 300-400 HVN (Vicker Hardness Number).



**Gambar 2.9 Bainit (Raymond, 1999)**

## **5. Martensit**

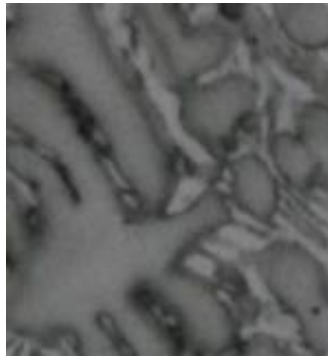
Martensit merupakan fasa dimana ferit dan sementit bercampur, tetapi bukan dalam lamellar, melainkan jarum-jarum sementit. Fasa ini terbentuk dari austenite stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat. Terjadinya hanya presipitasi  $\text{Fe}_3\text{C}$  unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi isothermal pada  $260^\circ\text{C}$  untuk membentuk dispersi karbida yang halus dalam matriks ferit. Martensit bilah (lath martensite) terbentuk jika kadar karbon dalam baja sampai 0,6% sedangkan di atas 1% C akan terbentuk martensit pelat (plate martensite). Perubahan dari tipe bilah ke pelat terjadi pada interval 0,6% C - 1,08%. Kekerasan dari martensit lebih dari 500 HVN.



**Gambar 2.10 Martensit (Raymond, 1999)**

## 6. Sementit (Karbida Besi)

Pada paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi (sementit). Karbida besi mempunyai komposisi kimia  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Dibandingkan dengan ferit, sementit sangat keras. Karbida besi dalam ferit akan meningkatkan kekerasan baja. Akan tetapi karbida besi murni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat. Kekerasan sementit adalah 800 HVN.



**Gambar 2.11 Sementit (Raymond, 1999)**

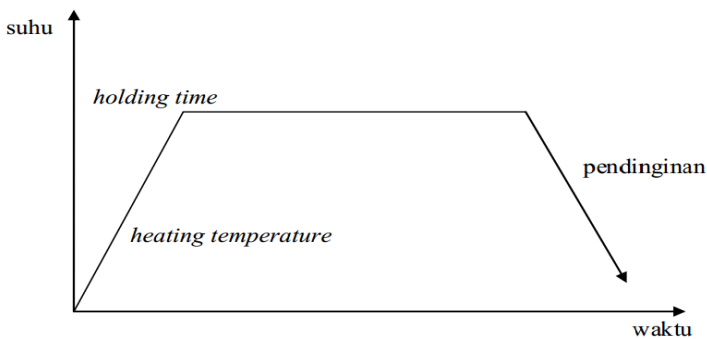
## 2.8 Heat Treatment

Perlakuan panas didefinisikan sebagai kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam/paduan dalam keadaan padat, sebagai upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Perubahan sifat tersebut terjadi karena ada perubahan struktur mikro selama proses pemanasan dan pendinginan dimana sifat logam atau paduan sangat dipengaruhi oleh struktur mikro. Proses perlakuan panas terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dari proses pemanasan bahan hingga pada suhu tertentu dan selanjutnya didinginkan juga dengan cara tertentu. Tujuan dari perlakuan panas adalah mendapatkan sifat-sifat mekanik yang lebih baik dan sesuai dengan yang diinginkan seperti meningkatkan

kekuatan dan kekerasan, mengurangi tegangan, melunakkan, mengembalikan pada kondisi normal akibat pengaruh pada pengerjaan sebelumnya, dan menghaluskan butir kristal yang akan berpengaruh pada pengerjaan sebelumnya, dan menghaluskan butir kristal yang akan berpengaruh pada keuletan bahan.

Secara umum, proses perlakuan panas adalah:

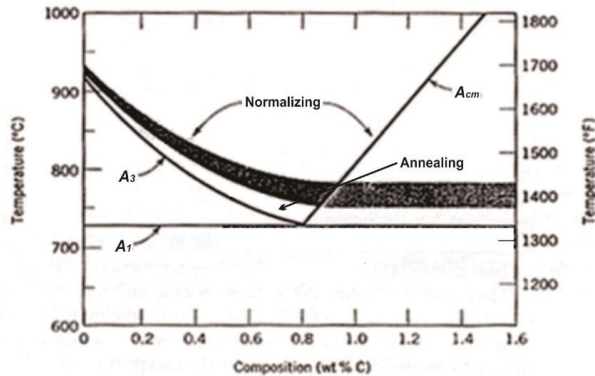
- Memanaskan logam / paduannya sampai pada suhu tertentu (*heating temperature*).
- Mempertahankan pada suhu pemanasan tersebut dalam waktu tertentu (*holding time*).
- Mendinginkan dengan media pendingin dan laju tertentu.



**Gambar 2.12 Diagram Temperatur Terhadap Waktu**

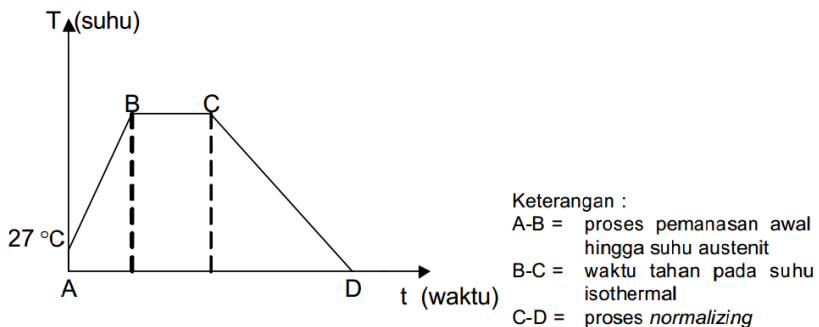
### 2.8.1 Normalizing

Normalizing adalah proses pemanasan pada suhu austenit dan didinginkan di udara terbuka. Cara normalizing adalah memanaskan baja pada suhu  $10^{\circ}\text{C}$ - $40^{\circ}\text{C}$  di atas daerah kritis, kemudian pendinginan dengan udara terbuka.



**Gambar 2.13 Interval Temperatur Normalizing Pada Baja Karbon (Brooks/Cole, 2003)**

Normalizing biasanya diterapkan pada baja karbon rendah dan baja paduan untuk menghilangkan pengaruh pengerjaan bahan sebelumnya, menghilangkan tegangan dalam, dan memperoleh sifat-sifat fisik yang diinginkan. Normalizing akan menghasilkan struktur mikro yang lebih homogen, sehingga akan memberikan respon lebih baik terhadap proses pengerasan (hardening). Hasil proses normalizing memiliki sifat baja yang berbutir lebih halus, lebih homogen dan keras dibandingkan dengan hasil dari annealing.



**Gambar 2.14 Diagram Normalizing**

### **2.8.2 Metode Pemanasan dan Pendinginan**

Dalam melakukan heat treatment biasanya menggunakan metode pemanasan sebagai berikut :

1. Dapur pemanas sudah mencapai titik austenisasi baru kemudian benda kerja dimasukkan terus ditahan.
2. Benda kerja dimasukkan ke dapur pemanas, baru menaikkan suhu sampai titik austenisasi terus ditahan.

Untuk proses pendinginan dapat menggunakan dengan metode sebagai berikut :

1. Celup cepat (quenching), pendinginan cepat dari suhu austenit ke dalam media pendingin (air, oli atau minyak).
2. Pendinginan dalam tungku (furnace), dari suhu austenit sampai suhu kamar, yang disebut proses annealing.
3. Pendinginan dalam suhu terbuka dari suhu austenit sampai mencapai suhu kamar, yang disebut proses normalizing.
4. Pendinginan tunda dari suhu austenit mula – mula didinginkan cepat sampai mencapai suhu tertentu, ditahan kemudian didinginkan lagi di udara terbuka sampai mencapai suhu kamar, yang disebut proses austempering.

### **2.8.3 Waktu Penahanan (Holding Time)**

Holding time merupakan waktu penahanan yang dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses hardening dengan menahan pada suhu pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya. Pada baja umumnya perlu dilakukan waktu penahanan, karena pada saat austenit masih merupakan butiran halus dan kadar karbon serta unsur paduannya belum homogen dan terdapat karbida yang belum larut. Baja perlu ditahan pada suhu austenit untuk memberikan kesempatan larutnya karbida dan lebih homogen austenit. Waktu penahanan dapat dilakukan pada saat suhu dapur (furnace) telah mencapai suhu panas yang dikehendaki guna memberi kesempatan penyempurnaan bentuk kristal yang terbentuk pada suhu transformasi. Tujuan waktu

penahanan pada proses tempering adalah agar struktur mikro yang dicapai setelah proses temper akan lebih homogen. Dan lamanya waktu penahanannya tergantung pada :

1. Tingkat kelarutan karbida.
2. Ukuran butir yang diinginkan
3. Laju pemanasan
4. Ketebalan benda kerja (ukuran penampang)

Pada pemanasan baja, berdasarkan jenis-jenis bajanya, pedoman waktu tahan pada proses heat treatment diklasifikasikan menjadi beberapa jenis.

Berikut pembagiannya adalah sebagai berikut:

1. Baja kontruksi dari baja karbon dan baja paduan rendah yang mengandung karbida yang mudah larut, biasanya pada baja jenis ini diperlukan holding time atau waktu tahan yang singkat dan tidak terlalu lama yaitu 5-15 menit setelah suhu pemanasannya dianggap sudah memadai.
2. Baja konstruksi dari baja paduan menengah, biasanya pada baja jenis ini disarankan untuk menggunakan holding time 15-25 menit, tidak tergantung ukuran benda kerja.
3. Baja campuran rendah (low alloy tool steel), biasanya pada baja jenis ini diperlukan holding time yang tepat, agar kekerasan yang diinginkan pada baja tersebut dapat tercapai. Holding time yang digunakan yaitu 0,5 menit permilimeter tebal benda, atau 10 sampai 30 menit.
4. Baja krom campuran tinggi (high alloy chrome steel), biasanya pada baja jenis ini diperlukan yang paling panjang diantara semua baja perkakas, dan juga tergantung pada suhu pemanasannya. Selain itu diperlukan kombinasi suhu dan waktu holding time yang tepat. Biasanya waktu holding time yang digunakan pada baja jenis ini yaitu 0,5 menit permilimeter tebal benda dengan minimum 10 menit dan maksimal 1 jam.
5. Hot- Work Tool Steel, biasanya baja jenis ini mengandung karbida yang sulit larut, dan baru akan larut

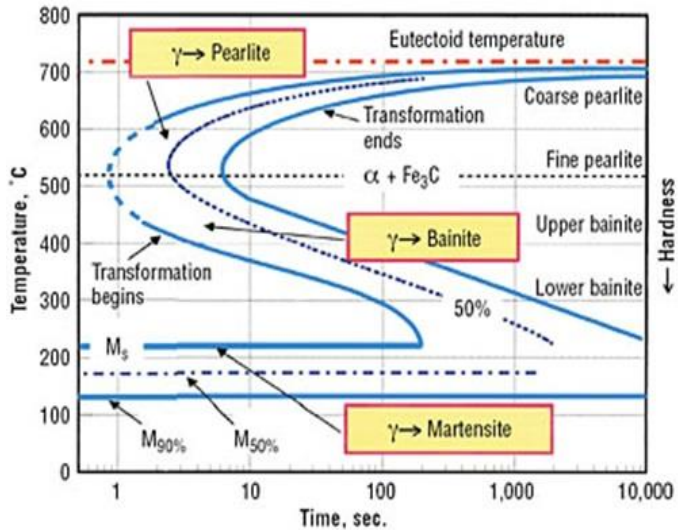
pada suhu 1000°C. Pada suhu ini kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir sangat besar, karena itu holding time harus dibatasi yaitu berkisar antara 15-30 menit.

6. Baja kecepatan tinggi (high speed steel), biasanya pada baja jenis ini memerlukan suhu pemanasan yang sangat tinggi yaitu berkisar antara 1200°C-1300°C. Hal tersebut dilakukan untuk mencegah terjadinya pertumbuhan butir dan holding time diambil hanya beberapa menit saja.

## **2.9 Diagram Transformasi Untuk Pendinginan**

Diagram TTT atau *Isothermal Transformation Diagram* merupakan sebuah diagram yang menghubungkan transformasi *austenite* terhadap waktu dan temperatur. Dalam proses laku panas pada baja, biasanya pemanasan dilakukan hingga mencapai temperature *austenite*, kemudian ditahan pada temperature tersebut beberapa saat lalu didinginkan dengan laju pendinginan tertentu. Struktur mikro yang terjadi setelah pendinginan akan tergantung pada laju pendinginan. Untuk mempercepat laju pendinginan dapat dilakukan dengan mengubah media pendinginannya, misalnya air, air garam, oli dll. Seiring dengan semakin cepatnya laju pendinginan maka sifat material yang terbentuk akan semakin keras. Karenanya sifat mekanik dari baja setelah akhir suatu proses laku panas akan banyak ditentukan oleh laju pendinginan. Proses transformasi ini dibaca dengan menggunakan diagram TTT. Melalui diagram TTT ini dapat digunakan untuk memperkirakan struktur dan sifat mekanik dari baja pada setiap tahap laku panas. Baja yang mempunyai komposisi penyusun berlainan akan mempunyai diagram yang berlainan juga.





**Gambar 2.15 Diagram TTT (Smallman dan Bishop, 2000).**

Kurva sebelah kiri menunjukkan saat mulainya transformasi isothermal dan kurva sebelah kanan menunjukkan saat selesainya transformasi isothermal. Diatas garis A1 austenit dalam keadaan stabil (tidak terjadi transformasi walaupun waktu penahannya bertambah). Dibawah temperature kritis A1 pada daerah di sebelah kiri kurva awal transformasi austenite tidak stabil yang suatu saat dapat bertransformasi dan disebelah kanan kurva akhir transformasi terdapat hasil transformasi isothermal dari austenite, sedang pada daerah diantara dua kurva mengindikasikan transformasi dari austenite ke tipe struktur kristal yang berbeda. Titik paling kiri dari kurva awal transformasi disebut hidung (*nose*) diagram. Transformasi austenite diatas nose akan menghasilkan perlit sedangkan di bawah nose akan menghasilkan bainit. Tetapi bila transformasi berlangsung pada temperature yang lebih rendah lagi dibawah garis Ms (*Martensite start*) akan diperoleh struktur martensit.

## 2.10 Pengujian Bahan Material

Proses pengujian logam adalah proses pemeriksaan bahan-bahan untuk diketahui sifat dan karakteristiknya yang meliputi sifat mekanik, sifat fisik, bentuk struktur, dan komposisi unsur-unsur yang terdapat di dalamnya. Adapun proses pengujiannya dikelompokkan ke dalam tiga kelompok metode pengujian, yaitu :

1. Hardness Test, pengujian logam untuk melihat tingkat kekerasan logam tersebut.
2. Metallography, yaitu proses pemeriksaan logam tentang komposisi kimianya, unsur-unsur yang terdapat di dalamnya, dan bentuk strukturnya.

Penjelasan mengenai pengujian logam akan dijelaskan lebih lanjut. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai ketiga metode pengujian logam.

## 2.11 Hardness Test

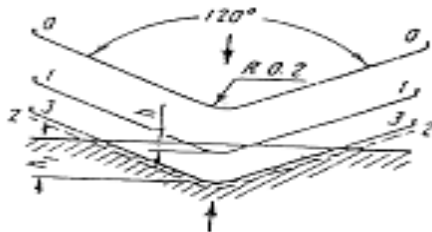
Kekerasan suatu bahan adalah kemampuan sebuah material untuk menerima beban tanpa mengalami deformasi plastis yaitu tahan terhadap indentasi, tahan terhadap penggoresan, tahan terhadap aus, tahan terhadap pengikisan (abrasi). Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting, karena kekerasan dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang lain, yaitu strength (kekuatan). Bahkan nilai kekuatan tarik yang dimiliki suatu material dapat dikonversi dari kekerasannya. Ada beberapa metode pengujian kekerasan yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, yaitu :

1. Metode Pengujian Kekerasan Brinell
2. Metode Pengujian Kekerasan Vickers
3. Metode Pengujian Kekerasan Rockwell

Dari ketiga metode tersebut yang sering digunakan hanya dua saja, *Brinell* dan *vickers*, namun pada penelitian kali ini akan menggunakan, metode *Rockwell*.

### 2.11.1 Pengujian kekerasan *Rockwell*

Pada pengujian kekerasan rockwell, angka kekerasan yang di peroleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada specimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode rockwell dapat digunakan dua bentuk indendtor, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan bentuk kerucut dari intan ( *diamond cone* ). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indendor, seperti tercantum pada tabel 2.6. pengujian ini banyak dilakukan di industri karena pelaksanaanya lebih cepat, dimana angka kekerasan specimen uji dapat dibaca langsung pada mesin.



**Gambar 2.16 Prinsip Kerja Rockwell (Raymond, 2003)**

Keterangan :

0-0 Posisi sebelum indentasi

1-1 Penetrasi pada saat beban awal  $P_1$

2-2 Penetrasi pada pada saat beban penuh (  $P_1+P$  )

3-3 Penetrasi setelah beban utam dilepas  $P_1$

Angka kekerasan Rockwell tidak bersatuan, tetapi dengan satu huruf depan seperti pada tabel 2.6 yang menyatakan kondisi pengujian. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala, yaitu merah dan hitam, berbeda 30 angka kekerasan. Skala Rockwell terbagi 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm. Angka kekerasan Rockwell B dan Rockwell C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi ( $h_1$ ) dapat ditulis sebagai berikut.

$$R_B = 130 - \frac{\text{kedalaman indentasi(mm)}}{0,002}$$

$$R_C = 100 - \frac{\text{kedalaman indentasi(mm)}}{0,002}$$

**Table 2.3 Skala Uji Kekerasan Rockwell (Raymond, 1999)**

Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1,558 mm	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1,558 mm	10	140	150	130	Merah
H	Bola baja 3,175 mm	10	50	60	130	Merah
K	Bola baja 3,175 mm	10	140	150	130	Merah
L	Bola baja 6,35 mm (1/4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola baja 6,35 mm	10	90	100	130	Merah
P	Bola baja 6,35 mm	10	140	150	130	Merah
R	Bola baja 12,7 mm (1/2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola baja 12,7 mm	10	90	100	130	Merah
V	Bola baja 12,7 mm	10	140	150	130	Merah

## 2.12 Pengujian Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro adalah suatu pengujian untuk mengetahui susunan fasa pada suatu benda uji atau material. Struktur mikro dan sifat paduannya dapat diamati dengan berbagai cara bergantung pada sifat informasi yang dibutuhkan. Salah satu cara dalam mengamati struktur suatu bahan yaitu dengan teknik *metalografi* (pengujian mikroskopik). Mikroskop

mikro yang digunakan untuk mengamati struktur bahan ditunjukkan pada Gambar 2.18.



**Gambar 2.17 Mikroskop**

**a. Metalografi**

Metalografi adalah ilmu yang berkaitan dengan penyusun dari mikrostruktur logam dan paduan yang dapat dilihat langsung oleh mata maupun dengan bantuan peralatan seperti mikroskop optik, mikroskop elektron SEM (*Scanning Electron Microscope*), dan difraksi sinar-X. Metalografi tidak hanya berkaitan dengan struktur logam tetapi juga mencakup pengetahuan yang diperlukan untuk preparasi awal permukaan bahan. Sampel metalografi harus memenuhi kriteria yaitu mewakili sampel, cacat dipermukaan minimum bebas goresan, lubang cairan lengket, inklusi, presipitat, fasa terlihat jelas, permukaan sampel datar sehingga perbesaran maksimum mampu dicapai, dan permukaan sampel bagian pinggir tidak rusak.

Dalam pengujian metalography dibagi menjadi dua jenis yaitu :

**a. Pengujian makro**

Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata apakah terdapat celah dan lubang pada permukaan material.

## **b. Pengujian mikro**

Pengujian mikro bertujuan untuk melihat butiran struktur kristal dari logam yang diuji dengan menggunakan mikroskop mulai perbesaran 50-3000 kali, sehingga dapat diketahui sifat, dan struktur dari logam tersebut. Agar permukaan logam dapat diamati, maka terlebih dahulu dilakukan persiapan sebagai berikut

### **1. Pemotongan**

Sampel untuk pengujian metalografi biasanya diambil dari material induk dengan melibatkan operasi pemotongan. Proses pemotongan induk dikerjakan dengan material *abrasive-wheel cutting* atau gergaji sehingga diperoleh sampel dengan dimensi sesuai dengan yang dikehendaki. Sampel yang dipotong tersebut harus memenuhi criteria persyaratan untuk metalografi.

### **2. Penggerindaan**

Penggerindaan dilakukan untuk menghilangkan sisi-sisi tajam dan goresan dari sampel akibat proses pemotongan. Proses penggerindaan dilakukan dengan menggunakan kertas gerinda dari *grade* kasar ke *grade* halus dengan penggantian bertahap. Ketika dilakukan penggantian kertas gerindra posisi sampel harus diputar  $90^\circ$  dari posisi sampel ketika menggunakan kertas gerindra *grade* sebelumnya. Perlakuan ini ditujukan untuk menghilangkan goresan yang mungkin terbentuk ketika dilakukan penggerindaan.

### **3. Pemolesan**

Pemolesan merupakan tahapan yang dilakukan untuk menyempurnakan hasil dari proses penggerindaan. Pada proses ini akan terjadi penghapusan goresan- goresan halus yang mungkin tersisa dari proses penggerindaan.

Sehingga melalui proses pemolesan ini akan didapatkan sampel yang bebas dari goresan yang dapat menyebabkan hasil tidak maksimal saat metalografi. Pada umumnya pemolesan dilakukan dengan pasta *abrasive* seperti dengan menggunakan pasta alumina dan pasta intan.

#### 4. Pengetsaan

Pengetsaan adalah suatu proses yang dilakukan untuk menampakkan batas- batas butir yang terbentuk pada logam. Prinsip dasar pengetsaan adalah melalui proses korosi terkendali. Pengendalian ini dapat berupa pengendalian waktu dan pengendalian bahan korosif yang digunakan.

Setelah semua proses persiapan dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah melakukan pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran yang telah ditentukan. dari hasil pengamatan mikroskopis akan diperoleh informasi dan analisa data tentang struktur mikro yang terbentuk pada material uji.

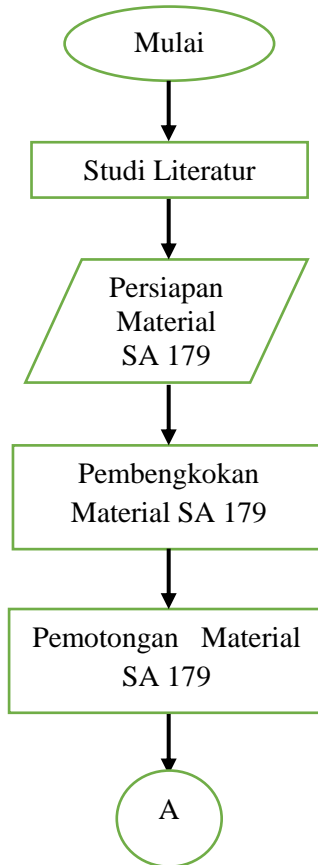
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



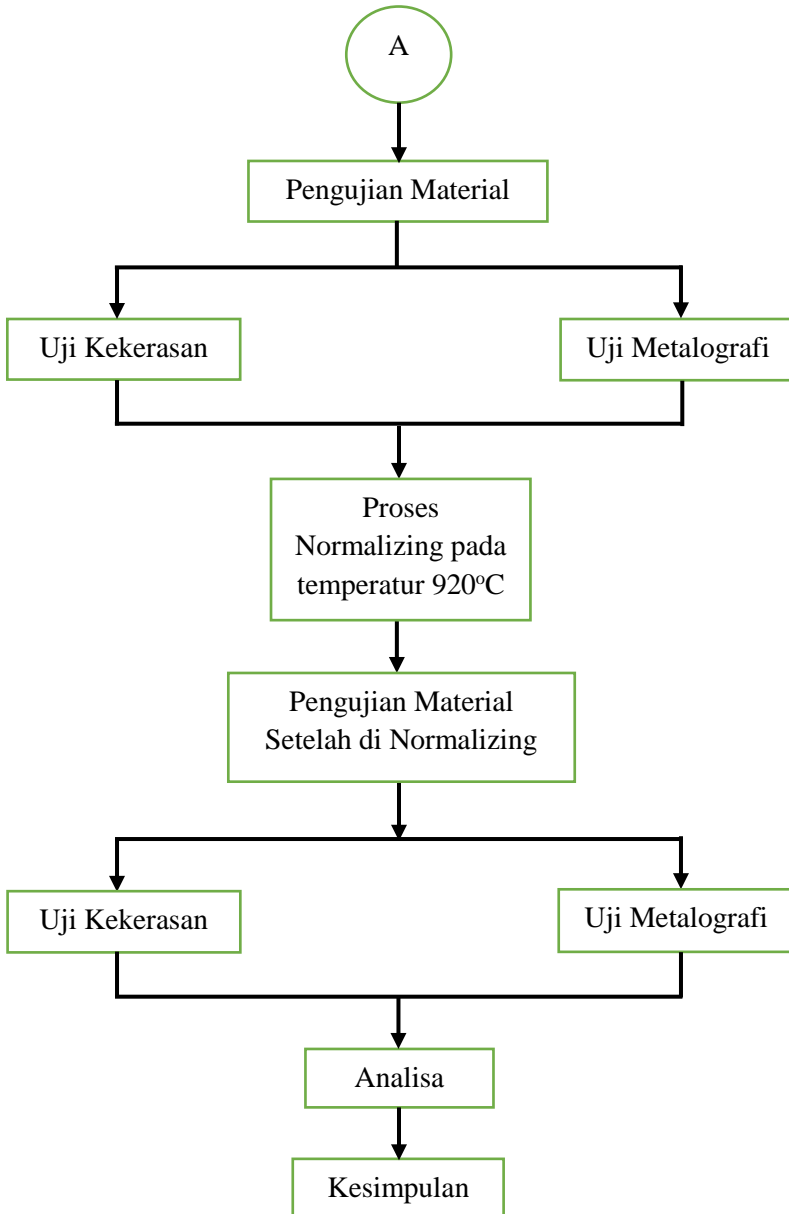
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 *Flow Chart Penelitian*

Untuk memudahkan dalam melakukan proses pengerjaan, maka disusunlah diagram alir seperti gambar 3.1 dan 3.2.



**Gambar 3.1 *Flow Chart Diagram***



**Gambar 3.2 Flow Chart Diagram ( Lanjutan )**

### 3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada semester genap tahun ajaran 2016/2017 yaitu pada bulan Mei sampai dengan Juni 2017.

### 3.3 Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di lab metalurgi Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS

### 3.4 Langkah Kerja

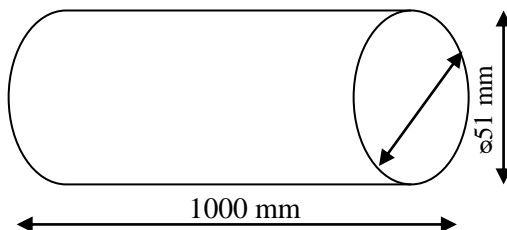
Dalam menyelesaikan tugas akhir ini langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur tentang pengaruh proses pembengkokan terhadap pipa serta perlakuan panas yaitu normalizing untuk mengurangi tegangan sisa akibat pengerjaan dingin (pembengkokan pipa), kemudian dilakukan perlakuan panas serta pengujian untuk mengetahui sifat mekanis dan kekerasan pada benda kerja. Untuk memperjelas, berikut tahapan tahapan yang akan dilakukan.

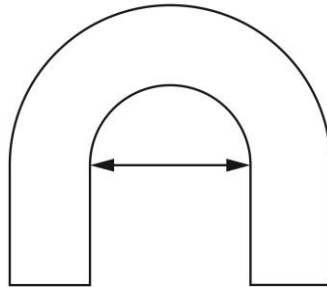
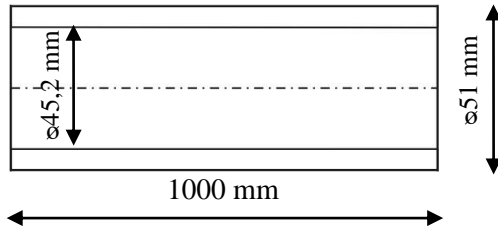
#### 3.4.1 Studi Literatur

Tahapan studi literatur adalah untuk mempelajari dan membahas teori-teori yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian ini. Selain itu juga melakukan pengambilan data melalui buku dan internet.

#### 3.4.2 Persiapan dan pemotongan material

Material yang digunakan adalah pipa SA 179 dengan dimensi 51 x 1000 mm dan tebal 2,9 mm. Material tersebut dibengkok dengan menggunakan mesin *rotary draw bending* membentuk sudut radius 70 mm seperti gambar dibawah ini:





**Gambar 3.3 Dimensi Material.**



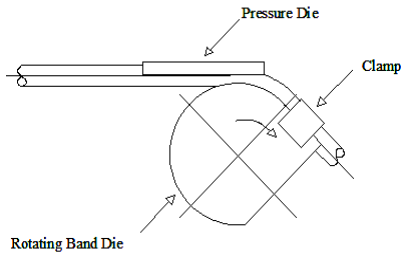
**Gambar 3.4 Gambar Material SA 179**



**Gambar 3.5 Proses Pemotongan Benda Kerja**

### 3.4.3 Pembengkokan

Pembengkokan pipa dilakukan dengan menggunakan mesin bengkok di PT. Dinamika Energitama Nusantara. Pipa dibengkok dengan sudut radius sebesar 70 mm menggunakan proses rotary draw bending.



**Gambar 3.6 Skema Proses Pembengkokan Pipa**



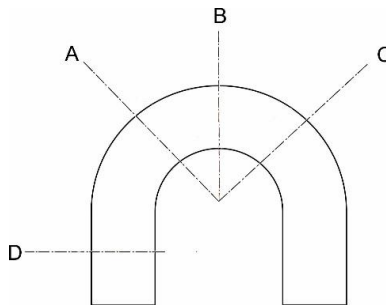
**Gambar 3.7 Proses Pembengkokan Pipa**



**Gambar 3.8 Benda Kerja Setelah Dibengkok**

### 3.4.4 Pemotongan Pipa Bengkok

Dilakukan untuk mempermudah dalam pengerjaan pengujian *Kekerasan* dan *Metalography*



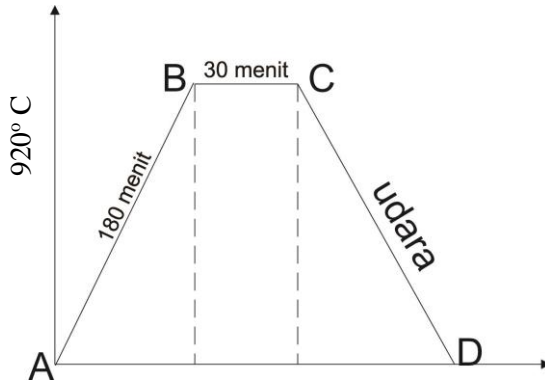
**Gambar 3.9 Pembagian Pemotongan Pipa Bengkok**

### 3.4.5 Perlakuan Panas

Perlakuan panas (*Heat Treatment*) pada percobaan kali ini menggunakan *Normalizing*, dan tujuannya ialah untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas pada sifat mekanik benda kerja hasil proses pembengkokan tersebut



**Gambar 3.10 Alat Oven**



**Gambar 3.11 Diagram Pemanasan Benda Kerja**

Dari Gambar 3.11, material dipanaskan dalam oven hingga mencapai temperatur  $920^{\circ}\text{C}$  dengan waktu menuju temperatur  $920^{\circ}\text{C}$  yaitu 180 menit. Setelah mencapai temperatur  $920^{\circ}\text{C}$ , pemanasan benda kerja pada temperatur  $920^{\circ}\text{C}$  ditahan (holding time) selama 30 menit, kemudian benda kerja didinginkan pada suhu kamar (udara).

### **3.4.6 Pengambilan *Test Piece***

Untuk pengambilan material, dilakukan dengan memperhitungkan jumlah pengujian yang akan digunakan. Dalam penelitian ini, Pengujian yang dilakukan adalah kekerasan ( *Hardness* ) dan *Metalography*



**Gambar 3.12 *Test Piece* Pengujian**

## 1. Uji Kekerasan

Dalam pengujian kekerasan, jumlah material yang diuji adalah 3 buah dari setiap variabel uji. Pengujian kekerasan dilakukan dengan maksud perbedaan distribusi nilai kekerasan pada material hasil proses pembungkakan pipa sebelum dan sesudah dilakukan normalizing



**Gambar 3.13 Material Uji Kekerasan**

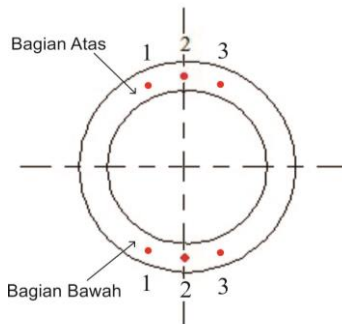


**Gambar 3.14 Alat Uji Kekerasan Rockwell**



### Spesifikasi Alat Uji:

Merk	: AFFRI Seri 206.RT – 206.RTS
Loading	: Maximum 150 KP Minimum 60 KP
Hrc Load	: 150 KP
Indentor	: Bola intan 120°
Hrb Load	: 100 KP
Indentor	: Bola Baja



**Gambar 3.15 Lokasi Indentasi Uji Kekerasan.**

## 2. Uji Metalografi

Pada pengujian Metalography test ini bertujuan untuk mengamati struktur mikro dari material hasil proses pembengkokan sebelum dan sesudah dilakukan normalizing. Material yang digunakan untuk uji metalografi sama dengan material yang digunakan untuk pengujian kekerasan. Sebelum dilakukan pengamatan struktur mikro, maka perlu dilakukan beberapa persiapan terhadap material uji diantaranya :

### a. Pemotongan

Pemotongan material untuk dijadikan material uji dilakukan dengan menggunakan gergaji mesin sehingga diperoleh material uji dengan dimensi sesuai dengan yang dikehendaki.

### **b. Pengamplasan**

Pengamplasan dilakukan untuk menghilangkan goresan yang terbentuk ketika dilakukan proses pemotongan. Material diampas menggunakan kertas amplas mulai dari grade kasar ke grade halus dengan penggantian secara bertahap.

### **c. Pemolesan**

Pemolesan merupakan tahapan yang dilakukan untuk menyempurnakan hasil dari proses pengamplasan. Pada proses ini akan terjadi penghapusan goresan-goresan halus yang mungkin tersisa dari proses pemotongan. Sehingga melalui proses pemolesan ini akan didapatkan sampel yang bebas dari goresan yang dapat menyebabkan hasil tidak maksimal saat dilakukan pengujian metalografi.

### **d. Etsa (*etching*)**

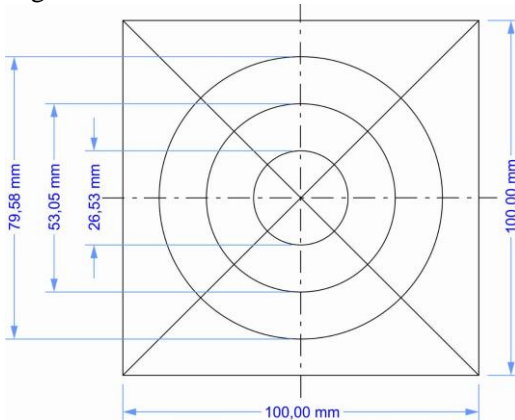
Proses etsa ini pada dasarnya adalah proses korosi yang tujuannya untuk mengkorosikan material sebelum dilakukan pengujian metalografi. Proses etsa ini dilakukan dengan cara mencelupkan material pada cairan etsa ( $\text{HNO}_3 + \text{Alkohol}$ )



**Gambar 3.16 Alat & Bahan untuk Proses Etsa**

### 3.4.7 Menghitung Rata – Rata Besar Butir

Dengan mengetahui besar butir suatu struktur mikro kekerasan suatu material dapat ditentukan, benda kerja dengan ukuran struktur mikro yang kecil (jumlahnya banyak) akan lebih keras dibanding benda kerja dengan ukuran struktur mikro yang besar (jumlahnya sedikit). Ukuran butir dapat ditentukan dengan menggunakan bantuan garis bantu Intercept Counting ASTM E112 sebagai berikut :



**Gambar 3.17 Garis Bantu Perhitungan Besar Butir Struktur Mikro**

$$G = (-6,645 \log \frac{L_T}{N \times M}) - 3,298$$

Keterangan

G : Grain Size Number

$L_T$  : Total panjang garis yang terkena batas butir

N : Jumlah titik potong batas butir yang terkena garis

M : Total perbesaran mikroskop

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana pengaruh proses *normalizing* terhadap pipa SA 179 yang telah dilakukan pengerjaan dingin (pembengkokan), melalui dua pengujian , yaitu Uji Kekerasan dan Uji Metalografi.

#### **4.1 Parameter Normalizing**

**Tabel 4.1 Spesifikasi Material**

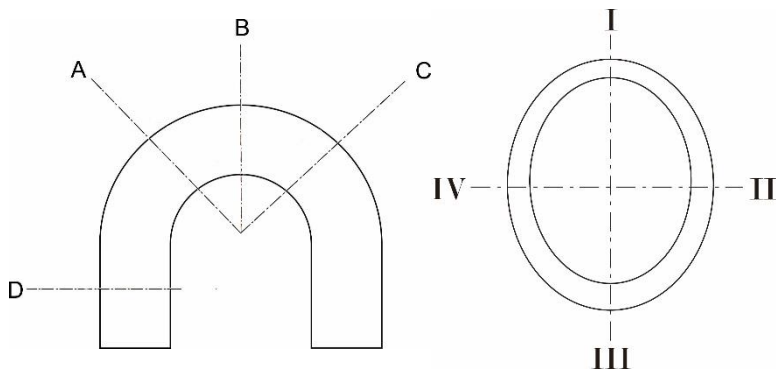
<b>Nama</b>	<b>Keterangan</b>
Material Spesification	SA 179
Tebal	2,9 mm
Diameter out	∅51 mm
Radius bengkok	70 mm

**Tabel 4.2 Parameter Perlakuan Panas**

<b>Proses</b>	<b>Normalizing</b>
Temperatur pemanasan	920 °C
Waktu pemanasan	180 menit
Holding time	30 menit
Laju pendinginan	Di luar tungku (suhu kamar)

## 4.2 Ketebalan Pipa

Akibat faktor pembengkokkan pipa maka ukuran ketebalan pipa tiap sisinya menjadi tidak merata. Pada pipa bagian luar ketebalan pipa menjadi lebih tipis sedangkan pada bagian dalam lebih tebal karena mengalami regangan. Lokasi pengukuran ketebalan pada material ditunjukkan seperti gambar di bawah ini.



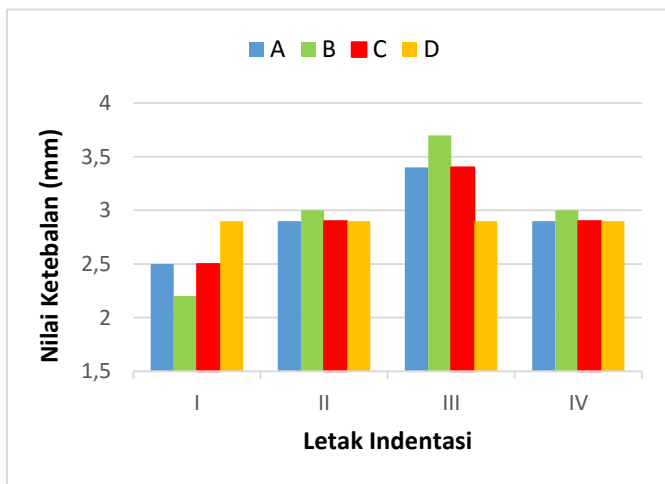
**Gambar 4.1 Lokasi Pengukuran Ketebalan Pipa**



**Gambar 4.2 Material Pengukuran Ketebalan Pipa**

**Tabel 4.3 Nilai Perbandingan Ketebalan Pipa**

Bidang		Tebal Pipa (mm)
A	I	2,5
	II	2,9
	III	3,4
	IV	2,9
B	I	2,2
	II	3
	III	3,7
	IV	3
C	I	2,5
	II	2,9
	III	3,4
	IV	2,9
D	I	2,9
	II	2,9
	III	2,9
	IV	2,9



**Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Ketebalan Pipa**

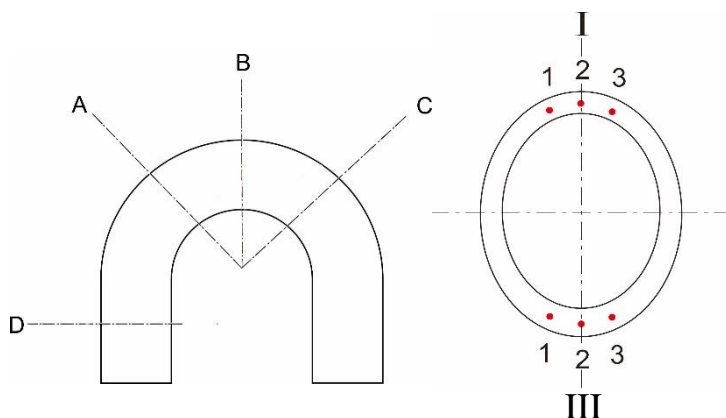
Dari Grafik Gambar 4.3 dapat disimpulkan bahwa ketebalan pada sisi I memiliki tebal yang rendah, sisi II dan sisi IV memiliki ketebalan yang sama dan sisi III memiliki ketebalan yang paling besar.

#### 4.3 Hardness Test ( Uji Kekerasan )

Pengujian kekerasan dilakukan pada Material hasil proses bengkok sebelum dan sesudah dilakukakan laku panas sebanyak 3 kali pengujian pada bagian atas dan bawah pipa. Selain itu pipa lurus yang tidak mengalami proses pembengkokan akan diamati juga nilai kekerasannya.

##### a) Uji Kekerasan Sebelum di Heat Treatment

Bentuk pengujian kekerasan pada material menggunakan letak indentasi seperti gambar di bawah



**Gambar 4.4 Sket Pembagian Bidang Uji Kekerasan Pada Pipa SA 179 Sebelum di Heat Treatment**



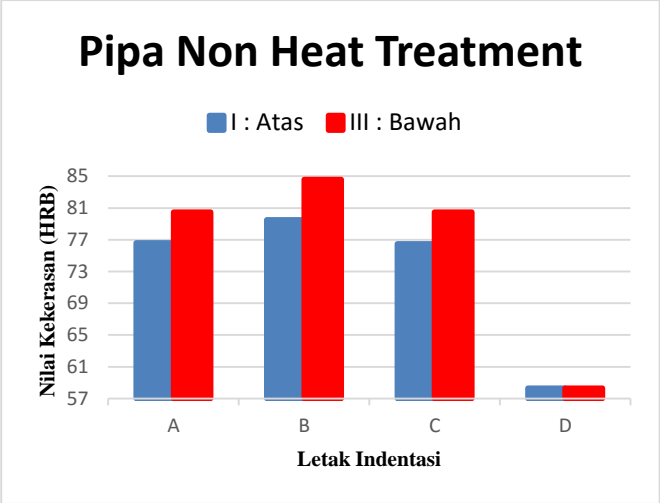


**Gambar 4.5 Material Uji Kekerasan Sebelum di Heat Treatment**

**Tabel 4.4 Nilai Kekerasan Untuk Pipa Sebelum di Heat Treatment**

Bidang		Titik Indentasi			Rata rata (HRB)
		1	2	3	
A	I	76,5	77	76	76,5
	III	80	81	80,5	80,5
B	I	79	80	79,5	79,5
	III	84	85	85	84,6
C	I	76	77	77	76,6
	III	80,5	81	81	80,5
D		58	59	58	58,3

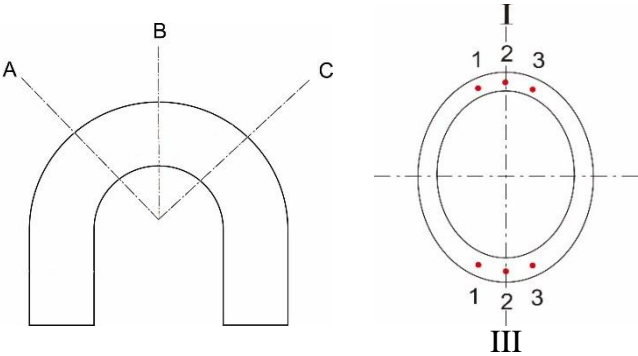
Berdasarkan data dari tabel diatas, maka dapat diperoleh grafik sebagai berikut.



**Gambar 4.6 Grafik Nilai Kekerasan Pipa Sebelum di Heat Treatment**

**b) Uji Kekerasan Sesudah di Heat Treatment**

Bentuk pengujian kekerasan pada material menggunakan letak indentasi seperti gambar di bawah



**Gambar 4.7 Sket Pembagian Bidang Uji Kekerasan Pada Pipa SA 179 Sesudah di Heat Treatment**

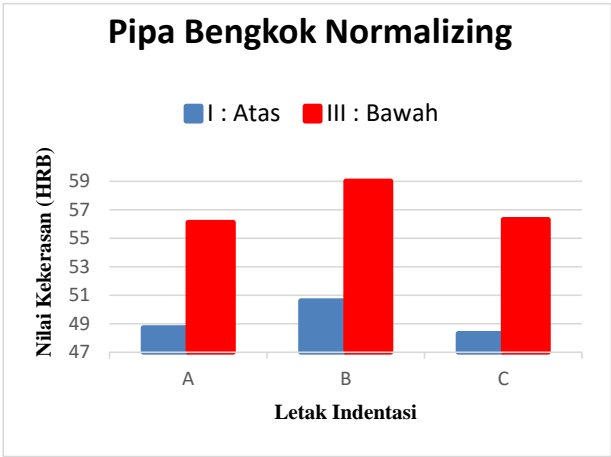


**Gambar 4.8 Material Uji Kekerasan Sesudah di Heat Treatment**

**Tabel 4.5 Nilai Kekerasan Untuk Pipa Bengkok Normalizing**

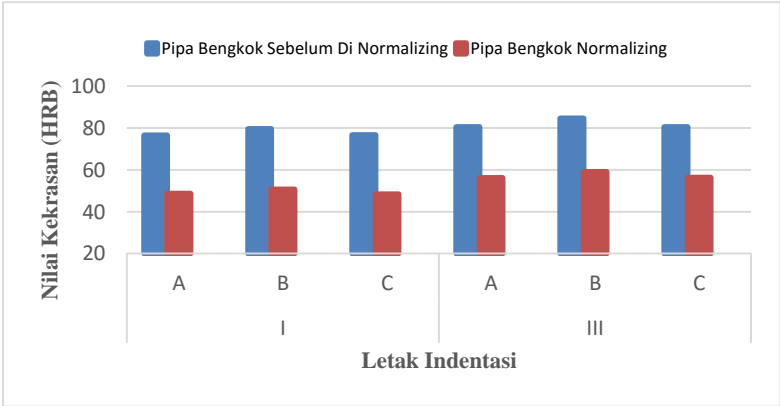
Bidang		Titik Indentasi			Rata rata (HRB)
		1	2	3	
A	I	49	48	49	48,7
	III	56	56	56,5	56,1
B	I	50	50	51	50,6
	III	60	58	59	59
C	I	47,5	48,5	49	48,3
	III	56	57	56	56,3

Berdasarkan data dari tabel diatas, maka dapat diperoleh grafik sebagai berikut.



Gambar 4.9 Grafik Nilai Kekerasan Pipa Bengkok Normalizing

Setelah mendapatkan nilai kekerasan pipa bengkok sebelum dan sesudah dilaku panas, maka didapatkan perbandingan sebagai berikut :



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Pipa Bengkok Sebelum di Heat Treatment dan Pipa Bengkok Sesudah di Normalizing

Dari tabel dan grafik rata-rata uji kekerasan yang ditampilkan diatas, diketahui bahwa nilai kekerasan rata-rata yang paling tinggi untuk pipa bengkok material SA 179 sebelum dan sesudah dilakukan proses normalizing terdapat pada daerah tengah pipa bagian bawah (B-III), sedangkan nilai rata-rata kekerasan yang paling rendah terdapat pada daerah ujung pipa bagian atas (A-I).

#### **4.4 Metallography Test (Uji Metalografi)**

Pada pengujian metalografi ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari material SA 179 sebelum dan sesudah dilakukan proses normalizing pada daerah sekitar lengkungan bengkoknya, dengan menggunakan mikroskop cahaya. Untuk memudahkan menentukan nilai rata – rata batas butir struktur mikro maka diperlukan penggambaran garis-garis bantu pada hasil foto uji metalografi untuk perhitungan rata-rata besar butir. Rumus yang digunakan untuk menentukan presentase tiap struktur mikro dapat dicari dengan cara

$$G = (-6,645 \log \frac{L_T}{N \times M}) - 3,298$$

Keterangan

G : Grain Size Number

$L_T$  : Total panjang garis yang terkena batas butir

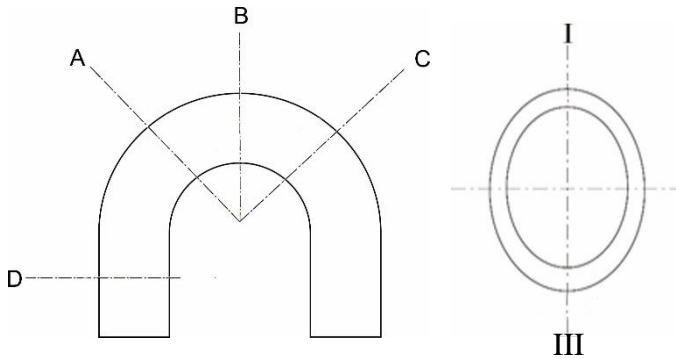
N : Jumlah titik potong batas butir yang terkena garis

M : Total perbesaran mikroskop

Uji metalografi ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop dengan perbesaran 500x, dan didapatkan hasil sebagai berikut.

**a) Material Non Treatment**

Bentuk pengujian struktur mikro pada material menggunakan letak indentasi seperti gambar di bawah

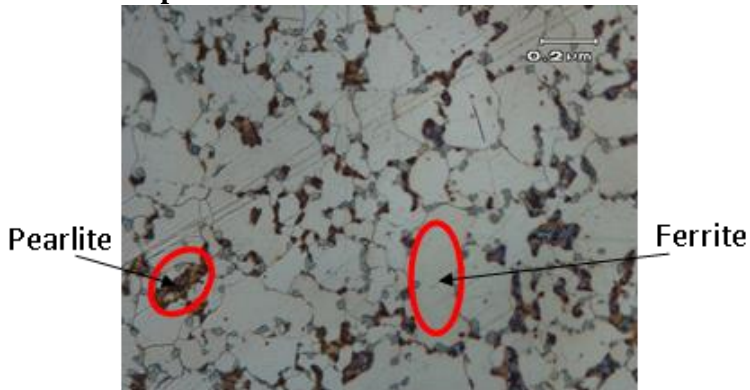


**Gambar 4.11 Sket Pembagian Bidang Uji Struktur Mikro Pada Pipa SA 179 Sebelum di Heat Treatment**



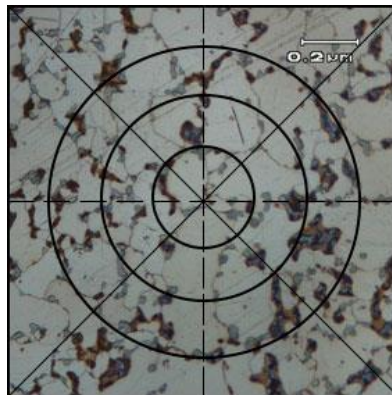
**Gambar 4.12 Benda Kerja Uji Struktur Mikro Sebelum di Heat Treatment**

### 1. Pipa D



**Gambar 4.13 Struktur Mikro Pipa D**

Untuk mencari rata – rata batas butir dapat menggunakan cara di bawah :



**Gambar 4.14 Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa D**

Setelah menghitung N (jumlah titik potong batas butir yang terkena garis) pada pipa D, maka dapat diketahui  $d_{average}$  dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Diketahui :

LT : 500

N : 60

M : 500

Ditanya :  $d_{\text{average}}$  ?

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

$$G = \left( -6,645 \log \frac{500}{60 \times 500} \right) - 3,298$$

$$G = 8,52$$

Setelah ditemukan nilai dari G (Grain Size Number), maka dapat diketahui nilai  $d_{\text{average}}$  dengan cara melihat Tabel Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains pada Lampiran 3.

$$d_{\text{average}} = 0,0189 \text{ mm}$$

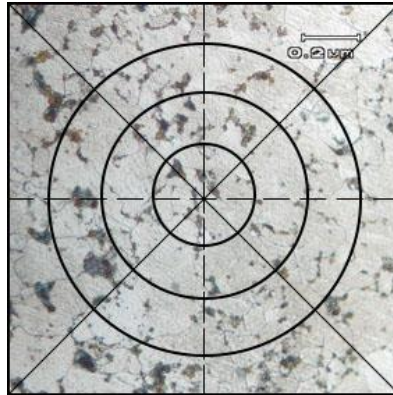
## 2. Pipa AI



**Gambar 4.15 Struktur Mikro Pipa AI Sebelum di Heat Treatment**



Untuk mencari rata – rata batas butir dapat menggunakan cara di bawah :



**Gambar 4.16 Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa AI Sebelum di Heat Treatment**

Setelah menghitung N (jumlah titik potong batas butir yang terkena garis) pada pipa AI, maka dapat diketahui  $d_{average}$  dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Diketahui :

LT : 500

N : 25

M : 500

Ditanya :  $d_{average}$  ?

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

$$G = \left( -6,645 \log \frac{500}{25 \times 500} \right) - 3,298$$

$$G = 5,99$$

Setelah ditemukan nilai dari G (Grain Size Number), maka dapat diketahui nilai  $d_{\text{average}}$  dengan cara melihat Tabel Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains pada Lampiran 3.

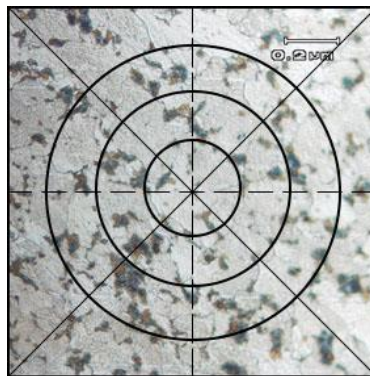
$$d_{\text{average}} = 0,0449 \text{ mm}$$

### 3. Pipa AIII



**Gambar 4.17 Struktur Mikro Pipa AIII Bawah Sebelum di Heat Treatment**

Untuk mencari rata – rata batas butir dapat menggunakan cara di bawah :



**Gambar 4.18 Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa AIII Sebelum di Heat Treatment**

Setelah menghitung N (jumlah titik potong batas butir yang terkena garis) pada pipa AIII, maka dapat diketahui  $d_{\text{average}}$  dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Diketahui :

LT : 500

N : 46

M : 500

Ditanya :  $d_{\text{average}}$  ?

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

$$G = \left( -6,645 \log \frac{500}{46 \times 500} \right) - 3,298$$

$$G = 7,78$$

Setelah ditemukan nilai dari G (Grain Size Number), maka dapat diketahui nilai  $d_{\text{average}}$  dengan cara melihat Tabel Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains pada Lampiran 3.

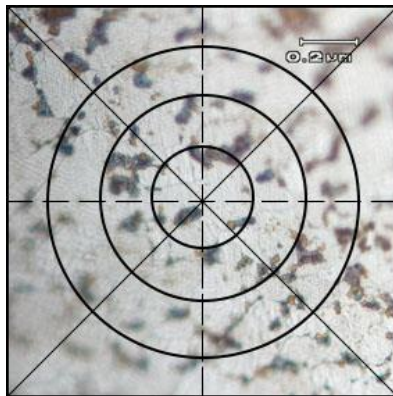
$$d_{\text{average}} = 0,0318 \text{ mm}$$

#### 4. Pipa CI



**Gambar 4.19 Struktur Mikro Pipa CI Sebelum di Heat Treatment**

Untuk mencari rata – rata batas butir dapat menggunakan cara di bawah :



**Gambar 4.20 Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa CI Sebelum di Heat Treatment**

Setelah menghitung N (jumlah titik potong batas butir yang terkena garis) pada pipa CI, maka dapat diketahui  $d_{\text{average}}$  dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Diketahui :

LT : 500

N : 22

M : 500

Ditanya :  $d_{\text{average}}$  ?

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

$$G = \left( -6,645 \log \frac{500}{22 \times 500} \right) - 3,298$$

$$G = 5,82$$

Setelah ditemukan nilai dari G (Grain Size Number), maka dapat diketahui nilai  $d_{\text{average}}$  dengan cara melihat Tabel Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains pada Lampiran 3.

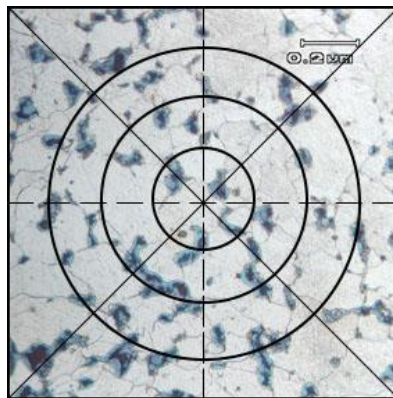
$$d_{\text{average}} = 0,0449 \text{ mm}$$

## 5. Pipa CIII



**Gambar 4.21 Struktur Mikro Pipa CIII Sebelum di Heat Treatment**

Untuk mencari rata – rata batas butir dapat menggunakan cara di bawah :



**Gambar 4.22 Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa CIII Sebelum di Heat Treatment**

Setelah menghitung N (jumlah titik potong batas butir yang terkena garis) pada pipa CIII, maka dapat diketahui  $d_{\text{average}}$  dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Diketahui :

LT : 500

N : 38

M : 500

Ditanya :  $d_{\text{average}}$  ?

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

$$G = \left( -6,645 \log \frac{500}{38 \times 500} \right) - 3,298$$

$$G = 5,62$$

Setelah ditemukan nilai dari G (Grain Size Number), maka dapat diketahui nilai  $d_{\text{average}}$  dengan cara melihat Tabel Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains pada Lampiran 3.

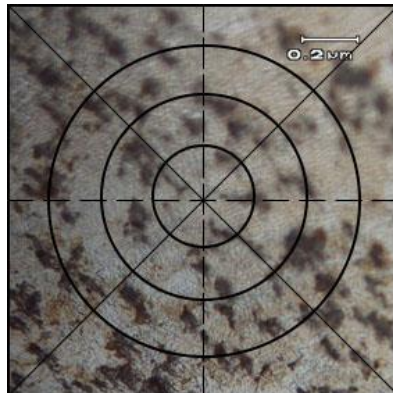
$$d_{\text{average}} = 0,0318 \text{ mm}$$

## 6. Pipa BI



**Gambar 4.23 Struktur Mikro Pipa BI Sebelum di Heat Treatment**

Untuk mencari rata – rata batas butir dapat menggunakan cara di bawah :



**Gambar 4.24 Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa BI Sebelum di Treatment**



Setelah menghitung N (jumlah titik potong batas butir yang terkena garis) pada pipa BI, maka dapat diketahui  $d_{\text{average}}$  dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Diketahui :

LT : 500

N : 34

M : 500

Ditanya :  $d_{\text{average}}$  ?

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

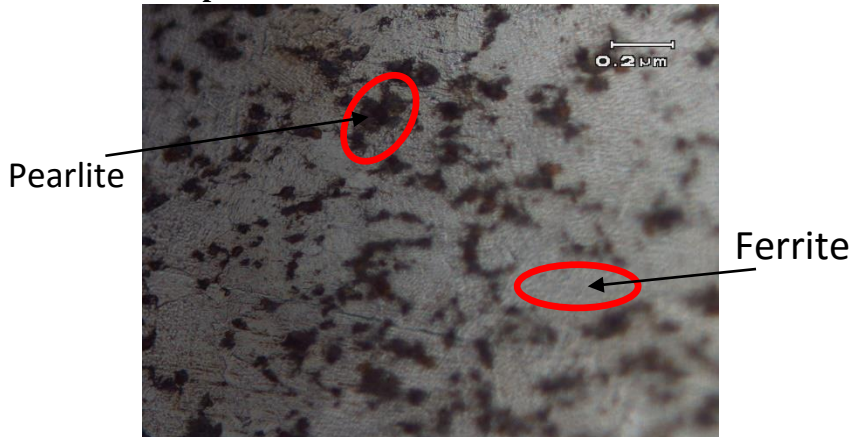
$$G = \left( -6,645 \log \frac{500}{34 \times 500} \right) - 3,298$$

$$G = 6,88$$

Setelah ditemukan nilai dari G (Grain Size Number), maka dapat diketahui nilai  $d_{\text{average}}$  dengan cara melihat Tabel Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains pada Lampiran 3.

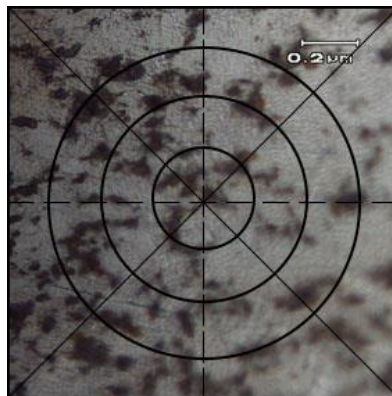
$$d_{\text{average}} = 0,0378 \text{ mm}$$

## 7. Pipa BIII



**Gambar 4.25 Struktur Mikro Pipa BIII Sebelum di Heat Treatment**

Untuk mencari rata – rata batas butir dapat menggunakan cara di bawah :



**Gambar 4.26 Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa BIII Sebelum di Treatment**

Setelah menghitung N (jumlah titik potong batas butir yang terkena garis) pada pipa BIII, maka dapat diketahui  $d_{\text{average}}$  dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Diketahui :

LT : 500

N : 48

M : 500

Ditanya :  $d_{\text{average}}$  ?

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

$$G = \left( -6,645 \log \frac{500}{48 \times 500} \right) - 3,298$$

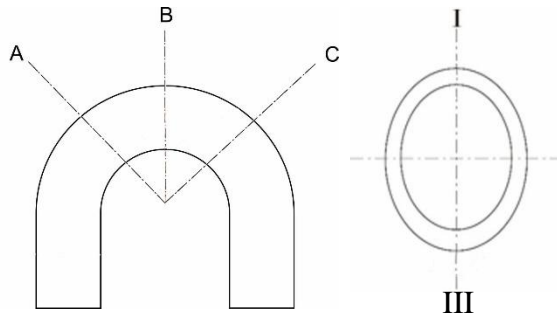
$$G = 7,87$$

Setelah ditemukan nilai dari G (Grain Size Number), maka dapat diketahui nilai  $d_{\text{average}}$  dengan cara melihat Tabel Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains pada Lampiran 3.

$$d_{\text{average}} = 0,0267 \text{ mm}$$

**b) Material Normalizing**

Bentuk pengujian struktur mikro pada material menggunakan letak indentasi seperti gambar di bawah



**Gambar 4.27 Sket Pembagian Bidang Uji Struktur Mikro Pada Pipa SA 179 Sesudah di Heat Treatment**



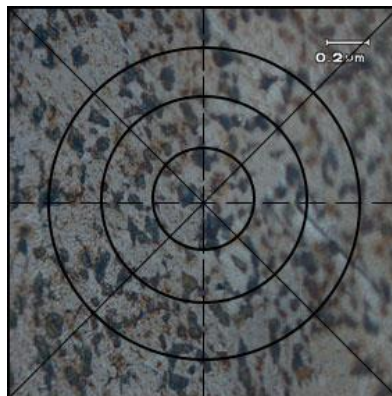
**Gambar 4.28 Material Uji Struktur Mikro Sesudah di Heat Treatment**

## 1. Pipa AI



**Gambar 4.29 Struktur Mikro Pipa AI Sesudah di Normalizing**

Untuk mencari rata – rata batas butir dapat menggunakan cara di bawah :



**Gambar 4.30 Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa AI Sesudah di Normalizing**

Setelah menghitung N (jumlah titik potong batas butir yang terkena garis) pada pipa AI, maka dapat diketahui  $d_{\text{average}}$  dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Diketahui :

LT : 500

N : 33

M : 500

Ditanya :  $d_{\text{average}}$  ?

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

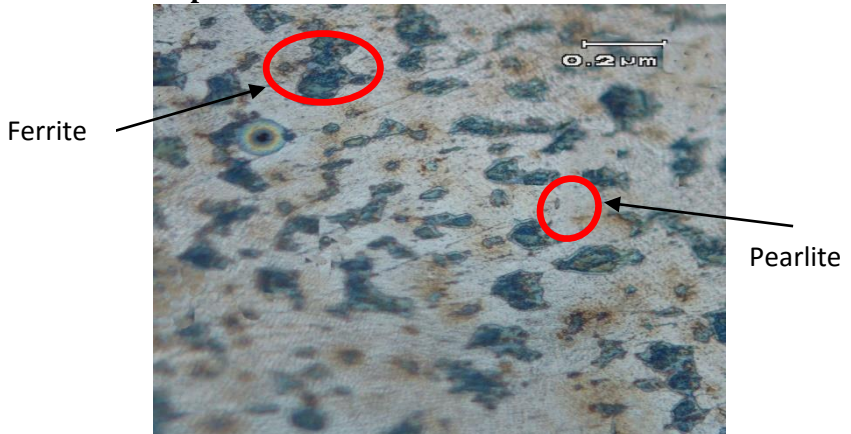
$$G = \left( -6,645 \log \frac{500}{33 \times 500} \right) - 3,298$$

$$G = 6,79$$

Setelah ditemukan nilai dari G (Grain Size Number), maka dapat diketahui nilai  $d_{\text{average}}$  dengan cara melihat Tabel Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains pada Lampiran 3.

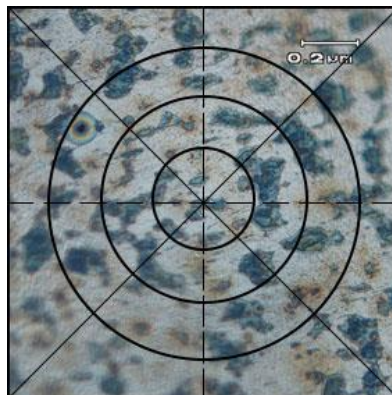
$$d_{\text{average}} = 0,0378 \text{ mm}$$

## 2. Pipa AIII



**Gambar 4.31 Struktur Mikro Pipa AIII Sesudah di Normalizing**

Untuk mencari rata – rata batas butir dapat menggunakan cara di bawah :



**Gambar 4.32 Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa AIII Sesudah di Normalizing**

Setelah menghitung N (jumlah titik potong batas butir yang terkena garis) pada pipa AIII, maka dapat diketahui  $d_{\text{average}}$  dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Diketahui :

LT : 500

N : 49

M : 500

Ditanya :  $d_{\text{average}}$  ?

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

$$G = \left( -6,645 \log \frac{500}{49 \times 500} \right) - 3,298$$

$$G = 7,71$$

Setelah ditemukan nilai dari G (Grain Size Number), maka dapat diketahui nilai  $d_{\text{average}}$  dengan cara melihat Tabel Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains pada Lampiran 3.

$$d_{\text{average}} = 0,0267 \text{ mm}$$

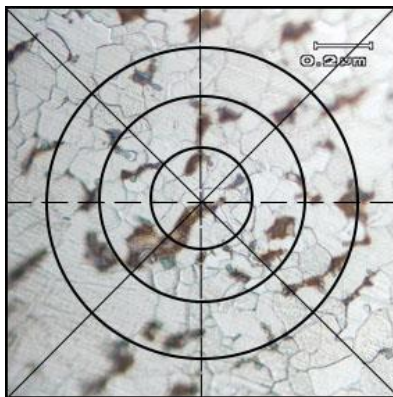


### 3. Pipa CI



**Gambar 4.33 Struktur Mikro Pipa CI Sesudah di Normalizing**

Untuk mencari rata – rata batas butir dapat menggunakan cara di bawah :



**Gambar 4.34 Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa CI Sesudah di Normalizing**

Setelah menghitung N (jumlah titik potong batas butir yang terkena garis) pada pipa CI, maka dapat diketahui  $d_{\text{average}}$  dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Diketahui :

LT : 500

N : 29

M : 500

Ditanya :  $d_{\text{average}}$  ?

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

$$G = \left( -6,645 \log \frac{500}{29 \times 500} \right) - 3,298$$

$$G = 6,41$$

Setelah ditemukan nilai dari G (Grain Size Number), maka dapat diketahui nilai  $d_{\text{average}}$  dengan cara melihat Tabel Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains pada Lampiran 3.

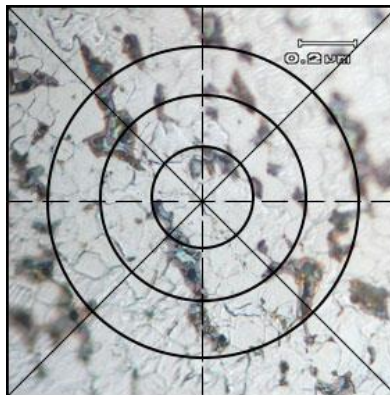
$$d_{\text{average}} = 0,0378 \text{ mm}$$

#### 4. Pipa CIII



**Gambar 4.35 Struktur Mikro Pipa CIII Sesudah di Normalizing**

Untuk mencari rata – rata batas butir dapat menggunakan cara di bawah :



**Gambar 4.36 Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa CIII Sesudah di Normalizing**

Setelah menghitung N (jumlah titik potong batas butir yang terkena garis) pada pipa CIII, maka dapat diketahui  $d_{\text{average}}$  dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Diketahui :

LT : 500

N : 46

M : 500

Ditanya :  $d_{\text{average}}$  ?

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

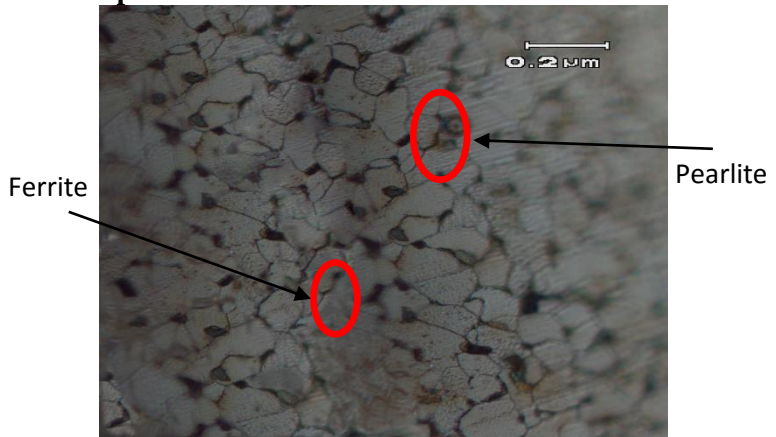
$$G = \left( -6,645 \log \frac{500}{46 \times 500} \right) - 3,298$$

$$G = 7,75$$

Setelah ditemukan nilai dari G (Grain Size Number), maka dapat diketahui nilai  $d_{\text{average}}$  dengan cara melihat Tabel Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains pada Lampiran 3.

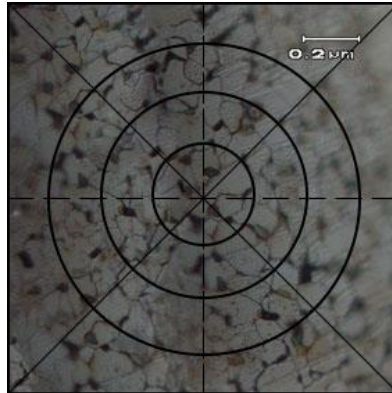
$$d_{\text{average}} = 0,0267 \text{ mm}$$

## 5. Pipa BI



**Gambar 4.37 Struktur Mikro Pipa BI Sesudah di Normalizing**

Untuk mencari rata – rata batas butir dapat menggunakan cara di bawah :



**Gambar 4.38 Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa BI Sesudah di Normalizing**

Setelah menghitung N (jumlah titik potong batas butir yang terkena garis) pada pipa BI, maka dapat diketahui  $d_{\text{average}}$  dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Diketahui :

LT : 500

N : 40

M : 500

Ditanya :  $d_{\text{average}}$  ?

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

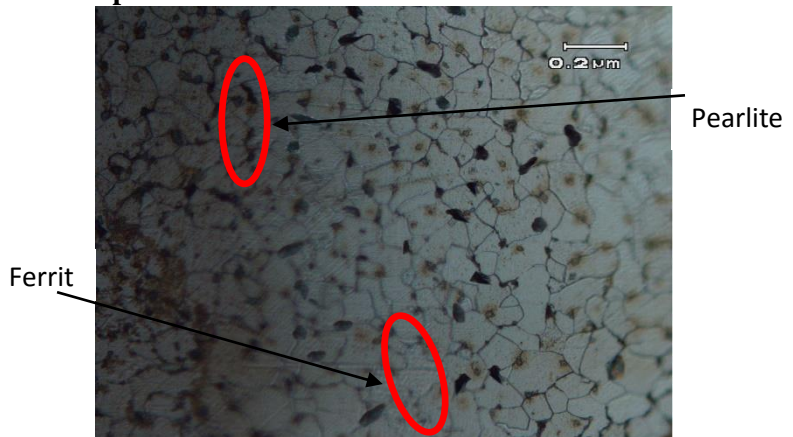
$$G = \left( -6,645 \log \frac{500}{40 \times 500} \right) - 3,298$$

$$G = 7,35$$

Setelah ditemukan nilai dari G (Grain Size Number), maka dapat diketahui nilai  $d_{\text{average}}$  dengan cara melihat Tabel Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains pada Lampiran 3.

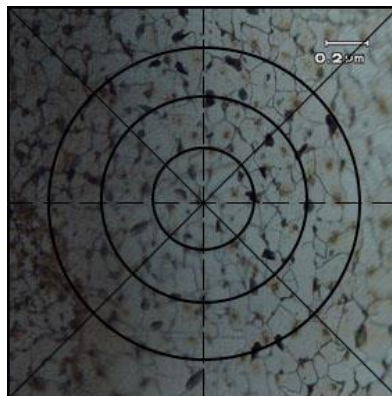
$$d_{\text{average}} = 0,0318 \text{ mm}$$

## 6. Pipa BIII



**Gambar 4.39 Struktur Mikro Pipa BIII Sesudah di Normalizing**

Untuk mencari rata – rata batas butir dapat menggunakan cara di bawah :



**Gambar 4.40 Perhitungan Rata – Rata Batas Butir Pipa BIII Sesudah di Normalizing**

Setelah menghitung N (jumlah titik potong batas butir yang terkena garis) pada pipa BIII, maka dapat diketahui  $d_{\text{average}}$  dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Diketahui :

LT : 500

N : 54

M : 500

Ditanya :  $d_{\text{average}}$  ?

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

$$G = \left( -6,645 \log \frac{500}{54 \times 500} \right) - 3,298$$

$$G = 8,21$$

Setelah ditemukan nilai dari G (Grain Size Number), maka dapat diketahui nilai  $d_{\text{average}}$  dengan cara melihat Tabel Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains pada Lampiran 3.

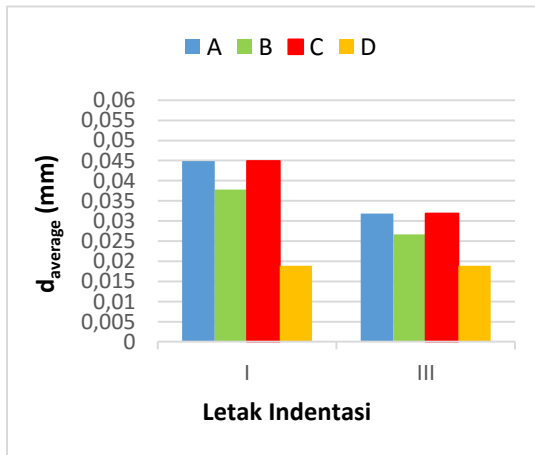
$$d_{\text{average}} = 0,0225 \text{ mm}$$



## Pengukuran Rata – Rata Batas Butir Struktur Mikro Baja

**Tabel 4.6 Nilai Rata – Rata Batas Butir Struktur Mikro Pipa Bengkok Sebelum di Heat Treatment**

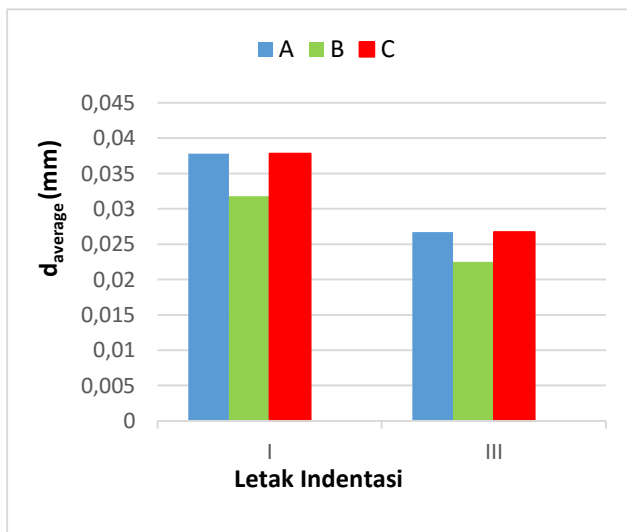
Material		$d_{\text{average}}$ (mm)
A	I	0,0449
	III	0,0318
B	I	0,0378
	III	0,0267
C	I	0,0449
	III	0,0318
D		0,0189



**Gambar 4.41 Grafik Nilai Rata – Rata Batas Butir Struktur Mikro Pipa Bengkok Sebelum di Heat Treatment**

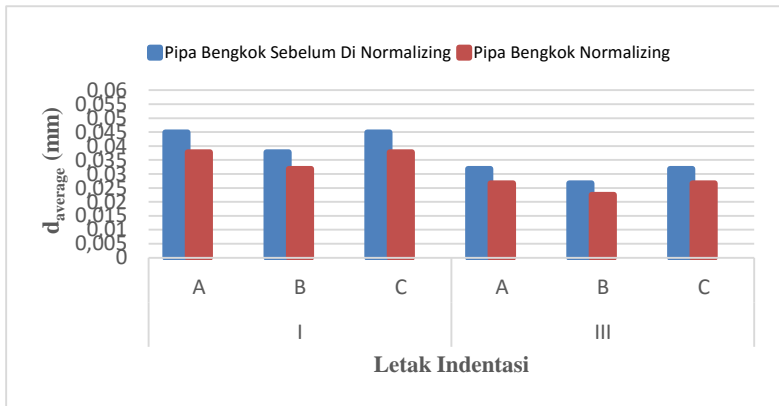
**Tabel 4.7 Nilai Rata – Rata Batas Butir Struktur Mikro Pipa Bengkok Setelah di Normalizing**

Material		$d_{average}$ (mm)
A	I	0,0378
	III	0,0267
B	I	0,0267
	III	0,0225
C	I	0,0378
	III	0,0267



**Gambar 4.42 Nilai Rata – Rata Batas Butir Struktur Mikro Pipa Bengkok Setelah di Normalizing**

Setelah mendapatkan nilai  $d_{\text{average}}$  pipa bengkok sebelum dan sesudah dilaku panas, maka didapatkan perbandingan sebagai berikut :



**Gambar 4.45 Grafik Perbandingan Nilai Rata – Rata Batas Butir Pipa Bengkok Sebelum di Heat Treatment dan Pipa Bengkok Sesudah di Normalizing**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa data mengenai pengaruh perlakuan *normalizing* terhadap sifat fisis dan sifat mekanis pada pipa bengkok material SA 179 maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Dari pengaruh proses *normalizing* didapatkan penurunan terhadap kekerasan pada pipa bengkok dibandingkan dengan pipa bengkok sebelum mengalami proses *normalizing*. Untuk nilai kekerasan pada material hasil perlakuan *normalizing* pada daerah BIII (pipa bengkok pada daerah tengah bagian bawah) sebesar 59 HRB dan pada material sebelum di *normalizing* pada daerah BIII (pipa bengkok pada daerah tengah bagian bawah) sebesar 84,6 HRB.
2. Dari pengaruh proses *normalizing* didapatkan penurunan terhadap nilai batas butir struktur mikro pada pipa bengkok dibandingkan dengan pipa bengkok sebelum mengalami proses *normalizing*. Untuk nilai rata – rata batas butir *normalizing* pada BIII (pipa bengkok pada daerah tengah bagian bawah) sebesar 0,0225 mm dan pada material pipa sebelum di *normalizing* pada BIII (pipa bengkok pada daerah tengah bagian bawah) sebesar 0,0267 mm.

#### **5.2 Saran**

Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut:

1. Perlakuan panas pada penelitian ini hanya dilakukan pada temperatur tertentu sehingga perlu dilakukan penelitian serupa dengan variasi temperatur perlakuan panas untuk memperoleh data yang lebih akurat.
2. Pada penelitian ini hanya menggunakan radius pembengkokan pipa tertentu saja sehingga perlu dilakukan penelitian serupa dengan variasi radius

pembengkokan pipa yang berbeda untuk memperoleh data yang lebih akurat.

3. Pada penelitian kali ini didapatkan banyak kesalahan dalam pemotongan *test piece* benda kerja dikarenakan tidak mengikuti proses pemotongan *test piece* sesuai ketentuan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Emoto, Kanji. 2000. *Speciality Pipe And Tube For Boiler And Petrochemical Plant*. Japan: JFE Steel Corporation.
2. Widiyono, Eddy. 2014. *Teori Dan Praktikum Ilmu Bahan*. Surabaya: Program Studi D3 Teknik Mesin FTI – ITS.
3. Mersilia, Anggun. 2016. *Pengaruh Heat Treatment Dengan Variasi Quenching Air Garam Dan Oli Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135*. Skripsi. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
4. Sidi, Pranowo dan Wahyudi, M. Thoriq. 2012. *Analisis Kekerasan Pada Pipa Yang Dibengkokan Akibat Pemanasan. Jurnal*. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Prasojo Budi, ST, MT. 2002. *Petunjuk Praktikum Uji Bahan*. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
6. Van Vlack, Djaprie, S., 1992. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Jakarta: Erlangga

## LAMPIRAN 1

Tabel Konversi Harga Kekerasan Bahan

Hardness Conversion Table				
Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness (BHN)	Vickers Hardness (HV)	Rockwell Hardness (HRB)	Rockwell Hardness (HRC)
285	86	90		
320	95	100	56,2	
350	105	110	62,3	
385	114	120	66,7	
415	124	130	71,2	
450	133	140	75,0	
480	143	150	78,7	
510	152	160	81,7	
545	162	170	85,0	
610	181	190	89,5	
640	190	200	91,5	
675	199	210	93,5	
705	209	220	95,0	
740	219	230	96,7	
770	228	240	98,1	
800	238	250	99,5	
820	242	255		23,1
850	252	265		24,8
880	261	275		26,4
900	266	280		27,1
930	276	290		28,5
950	280	295		29,2
995	295	310		31,0
1030	304	320		32,2
1060	314	330		33,3
1095	323	340		34,4
1125	333	350		35,5
1155	342	360		36,6
1190	352	370		37,7
1220	361	380		38,8
1255	371	390		39,8
1290	380	400		40,8
1320	390	410		41,8
1350	399	420		42,7
1385	409	430		43,6



## LAMPIRAN 1 (LANJUTAN)

Hardness Conversion Table				
Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness (BHN)	Vickers Hardness (HV)	Rockwell Hardness (HRB)	Rockwell Hardness (HRC)
1420	418	440		44,5
1455	428	450		45,3
1485	437	460		46,1
1520	447	470		46,9
1555	456	480		47,7
1595	466	490		48,4
1630	475	500		49,1
1665	485	510		49,8
1700	494	520		50,5
1740	504	530		51,1
1775	513	540		51,7
1810	523	550		52,3
1845	532	560		53,0
1880	542	570		53,6
1920	551	580		54,1
1955	561	590		54,7
1995	570	600		55,2
2030	580	610		55,7
2070	589	620		56,3
2105	599	630		56,8
2145	608	640		57,3
2180	618	650		57,8

## LAMPIRAN 2

### MACAM-MACAM STRUKTUR MIKRO

#### MACAM-MACAM STRUKTUR MIKRO



##### **FERRIT**

*Kadar karbon* : 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.  
*Struktur kristal* : BCC  
*Sifat mekanis* : Lunak dan ulet (kondisi anil)  
*Kekerasan* : 140 - 180 HVN



##### **PEARLITE**

*Kadar karbon* : 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C  
*Struktur kristal* : Struktur duplek dari ferrite dan cementite.  
*Sifat mekanis* : Lunak  
*Kekerasan* : ± 180-250 HVN



##### **AUSTENITE**

*Kadar karbon* : 2%  
*Struktur kristal* : FCC  
*Sifat mekanis* : Lunak dan ulet (kondisi besi murni)  
*Kekerasan* : ± 390 HVN



##### **LEDEBURITE**

*Kadar karbon* : 4,3% dan terbentuk pada suhu 1130°C  
*Struktur kristal* : Struktur duplek dari austenite dan cementite.  
*Sifat mekanis* : Keras  
*Kekerasan* : ± 760 HVN



##### **CEMENTITE**

*Kadar karbon* : 6,67%  
*Struktur kristal* : Orthorhombik  
*Sifat mekanis* : Sangat Keras dan getas  
*Kekerasan* : ± 800 HVN



##### **BAINITE**

*Kadar karbon* : < 0,5%  
*Struktur kristal* : BCC  
*Sifat mekanis* : Sangat keras dan getas  
*Kekerasan* : 300 - 400 HVN



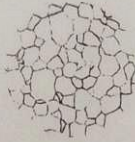
##### **MARTENSITE**

*Kadar karbon* : > 0,5%  
*Struktur kristal* : BCT  
*Sifat mekanis* : Sangat keras  
*Kekerasan* : > 500 HVN

## LAMPIRAN 2 (LANJUTAN)

### DEFINISI MACAM-MACAM STRUKTUR MIKRO

#### MACAM-MACAM STRUKTUR MIKRO



##### FERRIT

*Definisi* : Larutan padat interstisial karbon dalam besi  $\alpha$  dengan kadar karbon 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.

*Bentuk* : Butir-butir kristal yang padat

*Warna* : Putih terang



##### PEARLITE

*Definisi* : Suatu eutectoid mixture dari cementite dan ferrite terdiri dari lapisan alpha-ferrite (88%) dan cementite (12%) dengan kadar karbon 0,8%.

*Bentuk* : Pipih atau berlapis

*Warna* : Kehitaman



##### AUSTENITE

*Definisi* : Larutan padat interstisial karbon dalam besi  $\gamma$  dengan kadar karbon 2%.

*Bentuk* : Padatan seperti plat

*Warna* : Abu-abu terang



##### LEDEBURITE

*Definisi* : Suatu eutectic mixture dari austenite dan cementite dengan kadar karbon 4,3%.

*Bentuk* : Berbutir-butir

*Warna* : Putih dengan bintik-bintik hitam



##### CEMENTITE

*Definisi* : Karbida besi  $\text{Fe}_3\text{C}$ , merupakan senyawa interstisial dengan kadar karbon 6,67%.

*Bentuk* : Jaringan (network)

*Warna* : Putih



##### BAINITE

*Definisi* : Acicular mikro yang terbentuk pada baja pada suhu sekitar 250-550 °C dengan kadar karbon < 0,5%.

*Bentuk* : Jarum-jarum acicular yang tidak sejajar satu sama lain

*Warna* : Abu-abu gelap



##### MARTENSITE

*Definisi* : Struktur metastabil yang terbentuk karena proses pendinginan yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya dengan kadar karbon > 0,5%.

*Bentuk* : Jarum-jarum pendek

*Warna* : Hitam pekat

### LAMPIRAN 3

#### Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

Grain Size No. G	$\bar{N}_A$ Grains/Unit Area		$\bar{A}$ Average Grain Area		$\bar{d}$ Average Diameter		$\bar{\lambda}$ Mean Intercept		$\bar{N}_L$
	No./in. <sup>2</sup> at 100X	No./mm <sup>2</sup> at 1X	mm <sup>2</sup>	μm <sup>2</sup>	mm	μm	mm	μm	No./mm
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2891	289.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.88	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0478	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.0
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0



ORDER-MO STEEL D.O.O  
MANUFACTURER:HEBEI JI MENG HIGHSTRENGTH FLANG-TUBES GROUP CO.,LTD  
PRODUCT NAME:CARBON STEEL PIPE FITTINGS

## MILL TEST CERTIFICATE

PORT OF DISPATCH:TIANYIN PORT CHINA  
PORT OF DESTINATION:  
DATE OF ISSUE:May 12, 2014

### HEBEI JI MENG HIGHSTRENGTH FLANGE-TUBES GROUP CO., LTD

PRODUCT STANDARD:SA 179				SURFACE PROTECTION:ANTHRIST PAINT				PACKING REQUIREMENTS:WOODEN CASE			
NO.	SAMPLE PRODUCT NAME			MATERIAL STANDARD	UNIT	QUANTITY	HEAT NO.	SURFACE QUALITY	GEOMETRY DIMENSION	HEAT TREATMENT	
1	CARBON STEEL TUBES SA179 1"				PCS	100	712345	SATISFACTION	SATISFACTION	HOT FORMED	
2	CARBON STEEL TUBES SA179 2"				PCS	100	712345	SATISFACTION	SATISFACTION	AT	
3	CARBON STEEL TUBES SA179 3"				PCS	200	712345	SATISFACTION	SATISFACTION	920°C	
4	CARBON STEEL TUBES SA179 4"				PCS	150	712345	SATISFACTION	SATISFACTION	NONDESTRUCTIVE TEST	
5	CARBON STEEL TUBES SA179 1-1/4"				PCS	150	712345	SATISFACTION	SATISFACTION	IVE TEST	
CHEMICAL COMPOSITION AND MECHANICAL PROPERTY OF THE RAW MATERIAL											
CHEMICAL COMPOSITION (%)											
NO.	MECHANICAL PROPERTY										
	C	Mn	P	S	SI	Cr	Mo	Ni	Cu	OTHER	
MIN	0.07	0.45									
MAX	0.18	0.65									
1	0.07	0.45	0.025	0.028	-	0.05	-	-	-	(σ <sub>TS</sub> ) YIELD STRENGTH	
2	0.09	0.58	0.028	0.025	-	0.07	-	-	-	(σ <sub>TS</sub> ) YIELD STRENGTH	
3	0.12	0.65	0.039	0.031	-	0.12	-	-	-	TENSILE STRENGTH	
4	0.15	0.56	0.025	0.033	-	0.10	-	-	-	100 (min)	
5	0.18	0.49	0.029	0.035	-	0.07	-	-	-	50 (min)	
										30 (min)	
										335	
										200	
										33	
										60	
										62	
										35	
										67	
										65	

PAGE 1/1

河北冀孟高压法兰管件集团有限公司  
HEBEI JI MENG HIGHSTRENGTH  
FLANG-TUBES GROUP CO., LTD

张恩-南

## **Biodata Penulis**



Penulis bernama Fahmi Ainun Afif lahir di Kota Bangkalan Jawa Timur, pada tanggal 15 Desember 1995. Bertempat tinggal di Jalan Jambu Raya No. 02 Perumnas Kamal, Bangkalan - Madura.

Pendidikan formal yang telah ditempuhnya yaitu pada tahun 2002-2008 bersekolah di SDN Banyuajuh03 Kamal - Bangkalan, Kemudian pada tahun 2008-2011 melanjutkan di SMPN 1 Kamal - Bangkalan, dan pada tahun 20011-2014 melanjutkan ke SMAN 1 Kamal - Bangkalan. Pada tahun 2014, penulis melanjutkan di Perguruan Tinggi Negeri di Surabaya, dengan mengambil Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri FV - ITS dalam bidang studi manufaktur.

Penulis sempat melakukan Kerja Praktek di PT. Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkitan Brantas – PLTA Lodoyo selama 1 bulan dalam mata kuliah akademik semester 6.

Penulis juga sempat aktif di beberapa kegiatan yang diadakan oleh Himpunan Departemen Teknik Mesin Industri, mulai dari pelatihan sebagai peserta maupun panitia. Serta mengikuti panitia LKMM Pra - TD XIII FTI – ITS dan panitia Gerigi ITS pada tahun 2015.